Exercices en langage C++

C. Delannoy

AVANT-PROPOS

La maîtrise d'un langage de programmation passe obligatoirement par la pratique, c'est-à-dire la recherche personnelle d'une solution à un problème donné. Cette affirmation reste vraie pour le programmeur chevronné qui étudie un nouveau langage. C'est dans cette situation que se trouve généralement une personne qui aborde le C++ : elle connaît déjà le langage C sur lequel s'appuie effectivement C++ ; toutefois, ce dernier langage introduit suffisamment de possibilités supplémentaires et surtout de nouveaux concepts (en particulier, ceux de la Programmation Orientée Objet) pour que son apprentissage s'apparente à celui d'un nouveau langage.

Ce livre vous propose d'accompagner votre étude du C++ et de la prolonger, ceci à l'aide d'exercices appropriés, variés et de difficulté croissante.

Les différents chapitres, à l'exception du dernier, correspondent à une progression classique d'un "cours de C++" : incompatiblités entre C et C++ ; les spécificités de C++ ; notions de classe, constructeur et destructeur ; propriétés des fonctions membre ; construction, destruction et initialisation des objets ; les fonctions amies ; la surdéfinition d'opérateurs ; les conversions de type définies par l'utilisateur ; la technique de l'héritage ; les fonctions virtuelles ; les flots d'entrée et de sortie, les patrons de fonctions et les patrons de classes. Le dernier chapitre, enfin, propose des "exercices de synthèse".

Chaque chapitre débute par un "rappel détaillé"[1] des connaissances nécessaires pour aborder les exercices correspondants (naturellement, un exercice d'un chapitre donné peut faire intervenir des points résumés dans les chapitres précédents).

Au sein de chaque chapitre, les exercices proposés vont d'une application immédiate du cours à des réalisations de classes relativement complètes. Au fil de votre progression dans l'ouvrage, vous réaliserez des classes de plus en plus "réalistes et opérationnelles" et ayant un intérêt général ; citons, par exemple :

- les ensembles,
- les vecteurs dynamiques,
- les tableaux dynamiques à plusieurs dimensions,
- les listes chaînées,
- les tableaux de bits,
- les (vraies) chaînes de caractères,
- les piles,
- les complexes,
- etc.

Naturellement, tous les exercices sont "corrigés". Pour la plupart, la solution proposée ne se limite pas à une simple liste d'un programme (laquelle ne représente finalement qu'une rédaction possible parmi d'autres). Vous y trouverez une analyse détaillée du problème et, si besoin, les justifications de certains choix. Des commentaires viennent, le cas échéant, éclairer les parties quelque peu délicates. Fréquemment, vous trouverez des suggestions de prolongement ou de généralisation du problème abordé.

---

[1] Le cours complet correspondant à ces résumés peut être trouvé dans "Programmer en langage C++" ou dans "Programmer en Turbo C++", du même auteur, aux Editions Eyrolles.

Outre la maîtrise du langage C++ proprement dit, les exercices proposés vous permettront de vous forger une "méthodologie de conception de vos propres classes". Notamment, vous saurez :

- décider du bien-fondé de la surdéfinition de l'opérateur d'affectation ou du constructeur par recopie,
- exploiter, lorsque vous jugerez que cela est opportun, les possibilités de "conversions automatiques" que le compilateur peut mettre en place,
- comment tirer parti de l'héritage (simple ou multiple) et quels avantages présente la création d'une "bibliothèque de classes", notamment par le biais du "typage dynamique des objets" qui découle de l'emploi des fonctions virtuelles.

De surcroît, vous aurez rencontré un certain nombre de techniques fondamentales telles que : la réalisation d'un "itérateur" ou les "classes conteneurs" et l'utilisation des possibilités de "fonctions génériques" (patrons de fonctions) et de "classes génériques" (patrons de classes).

N.B.

En attendant la normalisation de C++, ce sont des publications de AT&T qui servent de "références" : version 1.1 en 86, 1.2 en 87, 2.0 en 89, 3.0 en 91 (cette dernière servant de base au travail du comité ANSI). Les rares différences existant entre les versions sont clairement mentionnées dans les résumés des différents chapitres.

Les exemples de programmes fournis en solution ont été testés avec le compilateur du logiciel Turbo C++ pour Windows, version 3.0.

TABLE DES MATIERES

Avant-propos V

I. Incompatibilités entre C et C++ 1

II. Les spécificités de C++ 7

III. Notions de classe, constructeur et destructeur 23

IV. Propriétés des fonctions membre 45

V. Construction, destruction et initialisation des objets 59

VI. Les fonctions amies 81

VII. La surdéfinition d'opérateurs 91

VIII. Les conversions de type définies par l'utilisateur 121

IX. La technique de l'héritage 133

X. L'héritage multiple 153

XI. Les fonctions virtuelles 167

XII. Les flots d'entrée et de sortie 179

XIII. Les patrons de fonctions 195

XIV. Les patrons de classes 205

XV. Exercices de synthèse 225

CHAPITRE I :
INCOMPATIBILITES ENTRE C ET C++

RAPPELS

C++ est "presque" un sur-ensemble du C, tel qu'il est défini par la norme ANSI. Seules existent quelques "incompatibilités" dont nous vous rappelons ici les principales.

Déclarations de fonctions

En C++, toute fonction utilisée dans un fichier source doit obligatoirement avoir fait l'objet :

- soit d'une déclaration sous forme d'un **prototype** (il précise à la fois le nom de la fonction, le type de ses arguments éventuels et le type de sa valeur de retour), comme dans cet exemple :

```
float fexp (int, double, char *) ;
```

- soit d'une définition préalable au sein du même fichier source (ce dernier cas étant d'ailleurs peu conseillé, dans la mesure où des problèmes risquent d'apparaître dès lors qu'on sépare ladite fonction du fichier source en question).

En C, une fonction pouvait ne pas être déclarée (auquel cas, on considérait, par défaut, que sa valeur de retour était de type int), ou encore déclarée partiellement (sans fournir le type de ses arguments), comme dans :

```
float fexp () ;
```

Fonctions sans arguments

En C++, une fonction sans argument se définit (au niveau de l'en-tête) et se déclare (au niveau du prototype) en fournissant une "liste d'arguments vide" comme dans :

```
float fct () ;
```

En C, on pouvait indifféremment utiliser cette notation ou faire appel au mot clé void comme dans :

```
float fct (void)
```

Fonctions sans valeur de retour

En C++, une fonction sans valeur de retour se définit (en-tête) et se déclare (prototype) obligatoirement à l'aide du mot clé void comme dans :

```
void fct (int, double) ;
```

En C, l'emploi du mot clé void était, dans ce cas, facultatif.

Le qualificatif const

En C++, un symbole global déclaré avec le qualificatif const :

- a une portée limitée au fichier source concerné, tandis qu'en C il pouvait éventuellement être utilisé dans un autre fichier source (en utilisant le mot clé extern),

- peut être utilisé dans une "expression constante" (expression calculable au moment de la compilation), alors qu'il ne pouvait pas l'être en C ; ce dernier point permet notamment d'utiliser de tels symboles pour définir la taille d'un tableau (en C, il fallait obligatoirement avoir recours à une "définition" de symboles par la directive #define).

Le type void *

En C++, un pointeur de type void * ne peut pas être converti "implicitement" lors d'une affectation en un pointeur d'un autre type ; la chose était permise en C. Bien entendu, en C++, il reste possible de faire appel à l'opérateur de "cast".

Exercice I.1

Enoncé

Quelles erreurs seront détectées par un compilateur C++ dans ce fichier source qui est accepté par un compilateur C?

```
main()
{
   int a=10, b=20, c ;
   c = g(a, b) ;
   printf ("valeur de g(%d,%d) = %d", a, b, c) ;
}
g(int x, int y)
{
   return (x*x + 2*x*y + y*y) ;
}
```

Solution

1) La fonction g doit obligatoirement faire l'objet d'une déclaration (sous forme d'un prototype) dans la fonction main. Par exemple, on pourrait introduire (n'importe où avant l'appel de g) :

```
int g (int, int) ;
```

ou encore :

```
int g (int x, int y) ;
```

Rappelons que, dans ce dernier cas, les noms x et y sont fictifs : ils n'ont aucun rôle dans la suite et ils n'interfèrent nullement avec d'autres variables de même nom qui pourraient être déclarées dans la même fonction (ici main).

2) La fonction printf doit, elle aussi, comme toutes les fonctions C++ (le compilateur n'étant pas en mesure de distinguer les fonctions de la bibliothèque des "fonctions définies par l'utilisateur"), faire l'objet d'un prototype. Naturellement, il n'est pas nécessaire de l'écrire explicitement : il est obtenu par incorporation du fichier en-tête correspondant :

```
#include <stdio.h>
```

Notez que certains compilateurs C refusent déjà l'absence de prototype pour une fonction de la bibliothèque standard telle que printf (mais la norme ANSI n'imposait rien à ce sujet!).

Exercice I.2

Ecrire correctement en C ce programme qui est correct en C++ :

```
#include <stdio.h>
const int nb = 10 ;
const int exclus = 5 ;
main()
{
   int valeurs [nb] ;
   int i, nbval = 0 ;
   printf ("donnez %d valeurs :\n", nb) ;
   for (i=0 ; i<nb ; i++) scanf ("%d", &valeurs[i]) ;
   for (i=0 ; i<nb ; i++)
      switch (valeurs[i])
       { case exclus-1 :
         case exclus   :
         case exclus+1 : nbval++ ;
       }
   printf ("%d valeurs sont interdites", nbval) ;

}
```

Solution

En C, les symboles nb et exclus ne sont pas utilisables dans des "expressions constantes". Il faut donc les définir soit comme des variables, soit à l'aide d'une directive #define comme suit :

```
#include <stdio.h>
#define NB 10
#define EXCLUS 5
```

```
main()
{
   int valeurs [NB] ;
   int i ;
   int nbval=0 ;
   printf ("donnez %d valeurs :\n", NB) ;
   for (i=0 ; i<NB ; i++) scanf ("%d", &valeurs[i]) ;
   for (i=0 ; i<NB ; i++)
      switch (valeurs[i])
       { case EXCLUS-1 :
         case EXCLUS   :
         case EXCLUS+1 : nbval++ ;
       }
   printf ("%d valeurs sont interdites", nbval) ;

}
```

CHAPITRE II :
LES SPECIFICITES DE C++

RAPPELS

C++ dispose, par rapport au C ANSI, d'un certain nombre de spécificités qui ne sont pas véritablement axées sur la Programmation Orientée Objet.

Nouvelles possibilités d'entrées-sorties

C++ dispose de nouvelles facilités d'entrées-sorties. Bien qu'elles soient fortement liées à des aspects P.O.O. (surdéfinition d'opérateur en particulier), elles sont parfaitement utilisables en dehors de ce contexte. C'est tout particulièrement le cas des possibilités d'entrées-sorties conversationnelles (clavier, écran) qui remplacent avantageusement les fonctions printf et scanf. Ainsi :

$$\texttt{cout} << \texttt{expression}_1 << \texttt{expression}_2 << \ldots\ldots\ldots << \texttt{expression}_n$$

affiche sur le "flot" cout (connecté par défaut à la sortie standard stdout) les valeurs des différentes expressions indiquées, suivant une présentation adaptée à leur type (depuis la version 2.0 de C++, on sait distinguer les attributs de signe et on peut afficher des valeurs de pointeurs). De même :

$$\texttt{cin} >> \texttt{lvalue}_1 >> \texttt{lvalue}_2 >> \ldots\ldots\ldots >> \texttt{lvalue}_n$$

lit sur le "flot" cin (connecté par défaut à l'entrée standard stdin) des informations de l'un des types char, short, int, long, float, double ou char * (depuis la version 2.0 de C++, on sait distinguer les attributs de signe ; en revanche, les pointeurs ne sont pas admis). Les conventions d'analyse des caractères lus sont comparables à celles de scanf avec cette principale différence que la lecture d'un caractère commence par sauter les séparateurs.

Nouvelle forme de commentaire

Les deux caractères // permettent d'introduire des "commentaires de fin de ligne" : tout ce qui suit ces caractères, jusqu'à la fin de la ligne, est considéré comme un commentaire.

Emplacement libre des déclarations

En C++, il n'est plus nécessaire de regrouper les déclarations en début de fonction ou en début de bloc. Il devient ainsi possible d'employer des expressions dans des initialisations comme dans cet exemple :

```
int n ;
   .....
n = ... ;
   .....
int q = 2*n - 1 ;
   .....
```

La transmission par référence[1]

En faisant précéder du symbole & le nom d'un argument dans l'en-tête (et dans le prototype) d'une fonction, on réalise une "transmission par référence". Cela signifie que les éventuelles modifications effectuées au sein de la fonction porteront sur l'argument effectif de l'appel et non plus sur une copie.

Les arguments par défaut

Dans la déclaration d'une fonction (prototype), il est possible de prévoir pour un ou plusieurs arguments (obligatoirement les derniers de la liste) des "valeurs par défaut" : elles sont indiquées par le signe =, à la suite du type de l'argument comme dans :

```
float fct (char, int = 10, float = 0.0) ;
```

Ces valeurs par défaut seront alors utilisées en cas d'appel de ladite fonction avec un nombre d'arguments inférieur à celui prévu. Par exemple, avec la précédente déclaration, l'appel fct ('a') sera équivalent à fct ('a', 10, 0.0) ; de même, l'appel fct ('x', 12) sera équivalent à fct ('x', 12, 0.0). En revanche, l'appel fct () sera illégal.

Surdéfinition de fonctions

En C++, il est possible, au sein d'un même programme, que plusieurs fonctions possèdent le même nom. Dans ce cas, lorsque le compilateur rencontre l'appel d'une telle fonction, il effectue le choix de la "bonne fonction" en tenant compte de la nature des arguments effectifs. Les règles utilisées dans une telle situation ont évolué avec les différentes versions de C++, généralement dans le sens d'un "affinement" : prise en compte de l'attribut de signe depuis la version 1.2, distinction des types char, short et int depuis la version 2.0, prise en compte de l'attribut const pour les pointeurs depuis la version 2.0 et pour les références depuis la version 3. D'une manière générale, si les règles utilisées par le compilateur pour sa recherche sont assez intuitives, leur énoncé précis est assez complexe et nous ne le rappelerons pas ici[2]. Signalons simplement qu'elles peuvent faire intervenir toutes les conversions usuelles (promotions numériques et conversions standards - éventuellement "dégradantes" depuis la version 2.0), ainsi que les "conversions définies par l'utilisateur" en cas d'argument de type classe, à condition qu'aucune ambiguïté n'apparaisse.

---

[1] La notion de référence est plus générale que celle de transmission d'arguments. C'est toutefois dans cette dernière situation qu'elle est la plus employée.

[2] On le trouvera, par exemple, dans l'annexe A de notre ouvrage "Programmer en langage C++", ou dans le chapitre V de "Programmer en Turbo C++", publiés également par les Editions EYROLLES.

Remarque :

Avant la version 2, toute définition ou utilisation d'une fonction "ordinaire" (c'est-à-dire autre qu'une "fonction membre d'une classe") surdéfinie devait être signalée au compilateur par une déclaration préalable de la forme : overload nom_fonction.

Gestion dynamique de la mémoire

En C++, les fonctions malloc, calloc... et free sont remplacées avantageusement par les "opérateurs" **new** et **delete**.

Si type représente la description d'un type absolument quelconque et si n représente une expression d'un type entier[3]

new type [n]

alloue l'emplacement nécessaire pour **n éléments** du type indiqué et fournit en résultat un pointeur (de type type *) sur le premier élément. On obtient un pointeur nul si l'allocation a échoué. L'indication n est facultative : avec **new type**, on obtient un emplacement pour **un élément** du type indiqué.

delete adresse

libère un emplacement préalablement alloué par new à l'adresse indiquée. Il n'est pas nécessaire de répéter le nombre d'éléments, du moins lorsqu'il ne s'agit pas d'objets, même lorsque celui-ci est différent de 1. Le cas des tableaux d'objets est examiné dans le chapitre V.

En outre, vous pouvez définir une fonction de votre choix et demander qu'elle soit appelée en cas de manque de mémoire. Il vous suffit d'en transmettre l'adresse en argument à la fonction **set_new_handler**.

Les fonctions "en ligne"

Une fonction "en ligne" (on dit aussi "développée") est une fonction dont les instructions sont incorporées par le compilateur (dans le module objet correspondant) à chaque appel. Cela évite la perte de temps nécessaire à un appel usuel (changement de contexte, copie des valeurs des arguments sur la "pile", ...) ; en revanche, les instructions en question sont générées plusieurs fois. Les fonctions "en ligne" offrent le même intérêt que les macros, sans présenter de risques "d'effets de bord". Une fonction en ligne est nécessairement définie en même temps qu'elle est déclarée (elle ne peut plus être compilée séparément) et son en-tête est précédé du mot clé inline comme dans :

```
inline fct ( ...)
{
   .....
}
```

Exercice II.1

[3] Généralement long ou unsigned long.

Enoncé

Ecrire le programme suivant (correct en C comme en C++), en ne faisant appel qu'aux nouvelles possibilités d'entrées-sorties de C++, donc en remplaçant les appels à printf et scanf :

```
#include <stdio.h>
main()
{
   int n ; float x ;
   printf ("donnez un entier et un flottant\n") ;
   scanf ("%d %e", &n, &x) ;
   printf ("le produit de %d par %e\n'est : %e", n, x, n*x) ;
}
```

Solution

```
#include <iostream.h> // pour pouvoir utiliser les flots cin et cout
                      // suivant les implémentations, on pourra rencontrer
                      //    h, hxx ...
main()
{
   int n ; float x ;
   cout << "donnez un entier et un flottant\n" ;
   cin >> n >> x ;
   cout << "le produit de " << n << " par " << x << "\n'est : " << n*x ;
}
```

Exercice II.2

Enoncé

Ecrire une fonction permettant d'échanger les contenus de 2 variables de type int fournies en argument :

- en transmettant l'adresse des variables concernées (seule méthode utilisable en C),
- en utilisant la transmission par référence.

Dans les deux cas, on écrira un petit programme d'essai (main) de la fonction.

Solution

a) avec la transmission des adresses des variables

```
#include <iostream.h>
main()
{
```

```
  void echange (int *, int *) ;        // prototype de la fonction echange
  int n=15, p=23 ;
  cout << "avant : " << n << " " << p << "\n" ;
  echange (&n, &p) ;
  cout << "après : " << n << " " << p << "\n" ;
}
void echange (int * a, int * b)
{ int c ;   // pour la permutation
  c = *a ;
  *a = *b ;
  *b = c ;
}
```

b) Avec une transmission par référence

```
#include <iostream.h>
main()
{
  void echange (int &, int &) ;        // prototype de la fonction echange
  int n=15, p=23 ;
  cout << "avant : " << n << " " << p << "\n" ;
  echange (n, p) ;                     // attention n et non &n, p et non &p
  cout << "après : " << n << " " << p << "\n" ;
}
void echange (int & a, int & b)
{ int c ;   // pour la permutation
  c = a ;
  a = b ;
  b = c ;
}
```

Exercice II.3

Enoncé

Soit le modèle de structure suivant :

```
struct essai
{ int n ;
  float x ;
} ;
```

Ecrire une fonction nommée raz permettant de remettre à zéro les 2 champs d'une structure de ce type, transmise en argument :

- par adresse,
- par référence.

Dans les deux cas, on écrira un petit programme d'essai de la fonction ; il affichera les valeurs d'une structure de ce type, après appel de ladite fonction.

Solution

a) Avec une transmission d'adresse

```
#include <iostream.h>
struct essai
{ int n ;
  float x ;
} ;
void raz (struct essai * ads)
{ ads->n = 0 ;          // ou encore (*ads).n = 0 ;
  ads->x = 0.0 ;        // ou encore (*ads).x = 0.0 ;
}
main()
{ struct essai s ;
  raz (&s) ;
  cout << "valeurs après raz : " << s.n << " " << s.x ;
}
```

b) Avec une transmission par référence

```
#include <iostream.h>
struct essai
{ int n ;
  float x ;
} ;
void raz (struct essai & s)
{ s.n = 0 ;
  s.x = 0.0 ;
}
main()
{ struct essai s ;
  raz (s) ;                 // notez bien s et non &s !
  cout << "valeurs après raz : " << s.n << " " << s.x ;
}
```

Exercice II.4

Enoncé

Soient les déclarations (C++) suivantes :

```
overload fct             // inutile depuis la version 2.0
int fct (int) ;          // fonction I
int fct (float) ;        // fonction II
void fct (int, float) ;  // fonction III
void fct (float, int) ;  // fonction IV
```

```
int n, p ;
float x, y ;
char c ;
double z ;
```

Les appels suivants sont-ils corrects et, si oui, quelles seront les fonctions effectivement appelées et les conversions éventuellement mises en place ?

```
a)  fct (n) ;
b)  fct (x) ;
c)  fct (n, x) ;
d)  fct (x, n) ;
e)  fct (c) ;
f)  fct (n, p) ;
g)  fct (n, c) ;
h)  fct (n, z) ;
i)  fct (z, z) ;
```

Solution

Les cas a, b, c et d ne posent aucun problème, quelle que soit la version de C++ utilisée. Il y a respectivement appel des fonctions I, II, III et IV, sans qu'aucune conversion d'argument ne soit nécessaire.

e) Appel de la fonction I, après conversion de la valeur de c en int.

f) Appel incorrect, compte tenu de son ambiguïté ; deux possibilités existent en effet : conserver n, convertir p en float et appeler la fonction III ou, au contraire, convertir n en float, conserver p et appeler la fonction IV.

g) Appel de la fonction III, après conversion de c en float.

h) Appel de la fonction III, après conversion (dégradante) de z en float (du moins, depuis la version 2.0, car auparavant, on aboutissait à une erreur de compilation liée à l'ambiguïté de l'appel).

i) Appel incorrect, compte tenu de son ambiguïté ; deux possibilités existent en effet : convertir le premier argument en float et le second en int et appeler la fonction III ou, au contraire, convertir le premier argument en int et le second en float et appeler la fonction IV. Notez que, dans le deux cas, il s'agit de conversions dégradantes (dans les versions antérieures à la 2.0, ces dernières n'étaient pas acceptées, et l'appel était rejeté parce qu'alors aucune correspondance n'était trouvée!).

Exercice II.5

Enoncé

Ecrire plus simplement en C++ les instructions suivantes, en utilisant les opérateurs new et delete :

```
int * adi ;
double * add ;
   .....
adi = malloc (sizeof (int) ) ;
add = malloc (sizeof (double) * 100 ) ;
```

Solution

```
int * adi ;
double * add ;
   .....
adi = new int ;
add = new double [100] ;
```

On peut éventuellement tenir compte des possibilités de déclarations dynamiques offertes par C++ (c'est-à-dire que l'on peut introduire une déclaration à n'importe quel emplacement d'un programme), et écrire, par exemple :

```
int * adi = new int ;
double * add = new double [100] ;
```

Exercice II.6

Enoncé

Ecrire plus simplement en C++, en utilisant les spécificités de ce langage, les instructions C suivantes :

```
double * adtab ;
int nval ;
   .....
printf ("combien de valeurs ? ") ;
scanf ("%d", &nval) ;
adtab = malloc (sizeof (double) * nval) ;
```

Solution

```
double * adtab ;
int nval ;
   .....
cout << "combien de valeurs ? " ;
cin >> nval ;
adtab = new double [nval] ;
```

Exercice II.7

Enoncé

Ecrire un programme allouant des emplacements pour des tableaux d'entiers dont la taille est fournie en donnée. Les allocations se poursuivront jusqu'à ce que l'on aboutisse à un débordement mémoire. L'exécution se présentera ainsi :

```
Taille souhaitée ? 6000
Allocation bloc numéro : 1
Allocation bloc numéro : 2
Allocation bloc numéro : 3
Allocation bloc numéro : 4
Allocation bloc numéro : 5
Mémoire insuffisante - arrêt exécution
```

On proposera deux solutions, l'une ne faisant pas appel à set_new_handler (il faudra donc vérifier la valeur fournie par new), l'autre faisant appel à set_new_handler.

Solution

a) Sans utiliser set_new_handler

On se contente de répéter l'allocation par new de blocs ayant la taille indiquée, jusqu'à ce que l'adresse fournie en retour soit nulle (NULL) :

```
#include <stdlib.h>          // pour exit
#include <iostream.h>
main()
{
   long taille ;
   int * adr ;
   int nbloc ;

   cout << "Taille souhaitée ? " ;
   cin >> taille ;

   for (nbloc=1 ; ; nbloc++)
      { adr = new int [taille] ;
        if (adr) cout << "Allocation bloc numéro : " << nbloc << "\n" ;
            else { cout << "Mémoire insuffisante - arrêt exécution \n " ;
                   exit (1) ;
                 }
      }
}
```

b) En utilisant set_new_handler

Cette fois, on commence par appeler la fonction set_new_handler, à laquelle on précise l'adresse d'une fonction (nommée ici deborde). Cette dernière sera appelée automatiquement dès qu'une allocation mémoire aura échoué, de sorte qu'il n'est plus nécessaire de prévoir de test à chaque appel de new.

```
#include <stdlib.h>          // pour exit
#include <iostream.h>
main()
{
   void deborde () ;        // proto fonction appelée en cas manque mémoire
   void set_new_handler ( void (*) () ) ; // proto de set_new_handler
   set_new_handler (&deborde) ;           // précise quelle sera la fonction
                                          // appelée en cas de manque mémoire
   long taille ;
   int * adr ;
   int nbloc ;

   cout << "Taille souhaitée ? " ;
   cin >> taille ;
   for (nbloc=1 ; ; nbloc++)
      { adr = new int [taille] ;
        cout << "Allocation bloc numéro : " << nbloc << "\n" ;
      }
}


void deborde ()       // fonction appelée en cas de manque mémoire
{
   cout << "Mémoire insuffisante - arrêt exécution \n " ;
   exit (1) ;
}
```

Exercice II.8

Enoncé

a) Transformer le programme suivant pour que la fonction fct devienne une fonction "en ligne".

```
#include <iostream.h>
main()
{
   int fct (char, int) ;            // déclaration (prototype) de fct
   int n = 150, p ;
   char c = 's' ;
   p = fct ( c , n) ;
   cout << "fct (\'" << c << "\', " << n << ") vaut : " << p ;
}
int fct (char c, int n)            // définition de fct
{
   int res ;
   if (c == 'a')      res = n + c ;
   else if (c == 's') res = n - c ;
   else               res = n * c ;
   return res ;
}
```

b) Comment faudrait-il procéder si l'on souhaitait que la fonciton fct soit compilée séparément?

Solution

a) Nous devons donc d'abord déclarer (et définir en même temps) la fonction fct comme une fonction "en ligne". Le programme main s'écrit de la même manière, si ce n'est que la déclaration de fct n'y est plus nécessaire puisqu'elle apparaît déjà auparavant.

```
#include <iostream.h>
inline int fct (char c, int n)
{   int res ;
    if (c == 'a')      res = n + c ;
    else if (c == 's') res = n - c ;
    else               res = n * c ;
    return res ;
}
main ()
{   int n = 150, p ;
    char c = 's' ;
    p = fct (c, n) ;
    cout << "fct (\'" << c << "\', " << n << ") vaut : " << p ;
}
```

b) Il s'agit en fait d'une question piège. En effet, la fonction fct étant "en ligne", elle ne peut plus être compilée séparément. Il est cependant possible de la conserver dans un fichier d'extension h et d'incorporer simplement ce fichier par #include pour compiler le main. Cette démarche se rencontrera d'ailleurs fréquemment dans le cas de classes comportant des fonctions "en ligne". Dans ce cas, dans un fichier d'extension h, on trouvera la déclaration de la classe en question, à l'intérieur de laquelle apparaîtront les "déclarations-définitions" des fonctions "en ligne".

CHAPITRE III :
NOTIONS DE CLASSE,
CONSTRUCTEUR ET DESTRUCTEUR

RAPPELS

Les possibilités de Programmation Orientée Objet de C++ reposent sur le concept de classe. Une classe est la généralisation de la notion de type défini par l'utilisateur, dans lequel se trouvent associées à la fois des données (on parle de "membres donnée") et des fonctions (on parle de "fonctions membre" ou de méthodes). En P.O.O. pure, les données sont "encapsulées", ce qui signifie que leur accès ne peut se faire que par le biais des méthodes. C++ vous autorise à n'encapsuler qu'une partie seulement des données d'une classe[1].

Déclaration et définition d'une classe

La **déclaration** d'une classe précise quels sont les membres (données ou fonctions) publics (c'est-à-dire accessibles à l'utilisateur de la classe) et quels sont les membres privés (inaccessibles à l'utilisateur de la classe). On utilise pour cela le mot clé **public**, comme dans cet exemple dans lequel la classe point comporte deux membres donnée privés x et y et trois fonctions membres publiques initialise, deplace et affiche :

```
       /* ------------ Déclaration de la classe point ------------- */
class point
{              /* déclaration des membres privés */
    int x ;
    int y ;
              /* déclaration des membres publics */
public :
    void initialise (int, int) ;
    void deplace (int, int) ;
    void affiche () ;
} ;
```

La **définition** d'une classe consiste à fournir les définitions des fonctions membre. Dans ce cas, on indique le nom de la classe correspondante, à l'aide de l'opérateur de résolution de portée (::). Au sein de la

---

[1] En toute rigueur, C++ vous permet également d'associer des fonctions membre à des structures, des unions ou des énumérations. Dans ce cas, toutefois, aucune encapsulation n'est possible (ce qui revient à dire que tous les membres sont "publics").

définition même, les membres (privés ou publics - données ou fonctions) sont directement accessibles sans qu'il soit nécessaire de préciser le nom de la classe. Voici, par exemple, ce que pourrait être la définition de la fonction initialise de la classe précédente :

```
void point::initialise (int abs, int ord)
{
   x = abs ; y = ord ;
}
```

Ici, x et y représentent implicitement les membres x et y d'un objet de la classe point.

Remarque :

Depuis la version 1.2 de C++, on peut également utiliser le mot clé **private**. Il n'est alors plus nécessaire de scinder en deux parties (publique et privée) les membres d'une classe. Une déclaration telle que la suivante est tout à fait envisageable :

```
class X
{     private :
        ...
      public :
        ...
      private :
        ...
      public :
        ...
} ;
```

Utilisation d'une classe

On déclare un "objet" d'un type classe donné en faisant précéder son nom du nom de la classe, comme dans l'instruction suivante qui déclare deux objets a et b de type point :

```
point a, b ;
```

On peut accéder à n'importe quel membre public (donnée ou fonction) d'une classe en utilisant l'opérateur . (point). Par exemple :

```
a.initialise (5, 2) ;
```

appelle la fonction membre initialise de la classe à laquelle appartient l'objet a, c'est-à-dire, ici, la classe point.

Affectation entre objets

C++ autorise l'affectation d'un objet d'un type donné à un autre objet de même type. Dans ce cas, il y a (tout naturellement) recopie des valeurs des champs de données (qu'ils soient publics ou privés). Toutefois, si, parmi ces champs, se trouvent des pointeurs, les emplacements pointés ne seront pas soumis à cette recopie. Si un tel effet est nécessaire (et il le sera souvent!), il ne pourra être obtenu qu'en "surdéfinissant" l'opérateur d'affectation pour la classe concernée (voyez le chapitre consacré à la surdéfinition d'opérateurs).

Constructeur et destructeur

Une fonction membre portant le même nom que sa classe se nomme un **constructeur**. Dès lors qu'une classe comporte un constructeur (au moins un), il n'est plus possible de déclarer un objet du type correspondant, sans fournir des valeurs pour les arguments requis par ce constructeur (sauf si ce dernier ne possède aucun argument). Le constructeur est appelé **après** l'allocation de l'espace mémoire destiné à l'objet.

Par définition même, un constructeur ne renvoie pas de valeur (aucune indication de type, pas même void, ne doit figurer devant sa déclaration ou sa définition).

Une fonction membre portant le même nom que sa classe, précédé du symbole tilda (~), se nomme un **destructeur**. Le destructeur est appelé avant la libération de l'espace mémoire associé à l'objet. Par définition même, un destructeur ne peut pas comporter d'arguments et il ne renvoie pas de valeur (aucune indication de type ne doit être prévue).

Membres donnée statiques

Un membre donnée déclaré avec l'attribut **static** est partagé par tous les objets de la même classe. Il existe même lorsque aucun objet de cette classe n'a été déclaré. Un membre donnée statique est initialisé par défaut à zéro (comme toutes les variables statiques!). Il peut être initialisé explicitement, à l'extérieur de la classe (même s'il est privé), en utilisant l'opérateur de résolution de portée (::) pour spécifier sa classe.

Exploitation d'une classe

En pratique, à l'utilisateur d'une classe (on dit souvent le "client"), on fournira :

- un fichier en-tête contenant la déclaration de la classe : l'utilisateur l'employant devra l'inclure dans tout programme faisant appel à la classe en question,
- un module objet résultant de la compilation du fichier source contenant la définition de la classe, c'est-à-dire la définition de ses fonctions membre.

Exercice III.1

Enoncé

Réaliser une classe point permettant de manipuler un point d'un plan. On prévoira :

- un constructeur recevant en arguments les coordonnées (float) d'un point,
- une fonction membre deplace effectuant une translation définie par ses deux arguments (float),
- une fonction membre affiche se contentant d'afficher les coordonnées cartésiennes du point.

Les coordonnées du point seront des membres donnée privés.

On écrira séparément :

- un fichier source constituant la déclaration de la classe,
- un fichier source correspondant à sa définition.

Ecrire, par ailleurs, un petit programme d'essai (main) déclarant un point, l'affichant, le déplaçant et l'affichant à nouveau.

Solution

a) Fichier source (nommé point.h) contenant la déclaration de la classe

```
           /*       fichier POINT1.H         */
           /* déclaration de la classe point */
class point
{
   float x, y ;                   // coordonnées (cartésiennes) du point
 public :
   point (float, float) ;         // constructeur
   void deplace (float, float) ;  // déplacement
   void affiche () ;              // affichage
} ;
```

b) Fichier source contenant la définition de la classe

```
           /* définition de la classe point */
#include "point1.h"
#include <iostream.h>
point::point (float abs, float ord)
{  x = abs ; y = ord ;
}
void point::deplace (float dx, float dy)
{  x = x + dx ; y = + dy ;
}
void point::affiche ()
{  cout << "Mes coordonnées cartésiennes sont " << x << " " << y << "\n" ;
}
```

Notez que, pour compiler ce fichier source, il est nécessaire d'inclure le fichier source, nommé ici point1.h, contenant la déclaration de la classe point.

c) Exemple d'utilisation de la classe

```
     /* exemple d'utilisation de la classe point */
#include <iostream.h>
#include "point1.h"
main ()
{
   point p (1.25, 2.5) ;  // construction d'un point de coordonnées 1.25 2.5
   p.affiche () ;         // affichage de ce point
   p.deplace (2.1, 3.4) ; // déplacement de ce point
   p.affiche () ;         // nouvel affichage
}
```

Bien entendu, pour pouvoir exécuter ce programme, il sera nécessaire d'introduire, lors de l'édition de liens, le module objet résultant de la compilation du fichier source contenant la définition de la classe point.

Notez que, généralement, le fichier point.h contiendra des directives conditionnelles de compilation, afin d'éviter les risques d'inclusion multiple. Par exemple, on pourra procéder ainsi :

```
#ifndef POINT_H
#define POINT_H
    .....
    déclaration de la classe....
    .....
#endif
```

Exercice III.2

Enoncé

Réaliser une classe point, analogue à la précédente, mais ne comportant pas de fonction affiche. Pour respecter le principe d'encapsulation des données, prévoir deux fonctions membre publiques (nommées abscisse et ordonnee) fournissant en retour respectivement l'abscisse et l'ordonnée d'un point. Adapter le petit programme d'essai précédent pour qu'il fonctionne avec cette nouvelle classe.

Solution

Il suffit d'introduire deux nouvelles fonctions membre abscisse et ordonnée et de supprimer la fonction affiche. La nouvelle déclaration de la classe est alors :

```
          /*       fichier POINT2.H         */
          /* déclaration de la classe point */
class point
{
   float x, y ;                   // coordonnées (cartésiennes) du point
 public :
   point (float, float) ;         // constructeur
   void deplace (float, float) ;  // déplacement
   float abscisse () ;            // abscisse du point
   float ordonnee () ;            // ordonnée du point
} ;
```

Voici sa nouvelle définition :

```
          /* définition de la classe point */
#include "point2.h"
#include <iostream.h>
point::point (float abs, float ord)
{  x = abs ; y = ord ;
}
```

```
void point::deplace (float dx, float dy)
{  x = x + dx ; y = + dy ;
}
float point::abscisse ()
{ return x ;
}
float point::ordonnee ()
{ return y ;
}
```

Et le nouveau programme d'essai :

```
     /* exemple d'utilisation de la classe point */
#include <iostream.h>
#include "point2.h"
main ()
{
   point p (1.25, 2.5) ;                                    // construction
                                                            // affichage
   cout << "Coordonnées cartésiennes : " << p.abscisse () << " "
                                        << p.ordonnee () << "\n" ;
   p.deplace (2.1, 3.4) ;                                   // déplacement
                                                            // affichage
   cout << "Coordonnées cartésiennes : " << p.abscisse () << " "
                                        << p.ordonnee () << "\n" ;
}
```

Discussion

Cet exemple montre comment il est toujours possible de respecter le principe d'encapsulation en introduisant ce que l'on nomme des "fonctions d'accès". Il s'agit de fonctions membre destinées à accéder (aussi bien en consultation - comme ici - qu'en modification) aux membres privés. L'intérêt de leur emploi (par rapport à un accès direct aux données qu'il faudrait alors rendre publiques) réside dans la souplesse de modification de l'implémentation de la classe qui en découle. Ainsi, ici, il est tout à fait possible de modifier la manière dont un point est représenté (par exemple, en utilisant ses coordonnées polaires plutôt que ses coordonnées cartésiennes), sans que l'utilisateur de la classe n'ait à se soucier de cet aspect. C'est d'ailleurs ce que vous montrera l'exercice III.4 ci-après.

Exercice III.3

Enoncé

Ajouter à la classe précédente (comportant un constructeur et 3 fonctions membre deplace, abscisse et ordonnee) de nouvelles fonctions membre :

- homothetie qui effectue une homothétie dont le rapport est fourni en argument,
- rotation qui effectue une rotation dont l'angle est fourni en argument,
- rho et theta qui fournissent en retour les **coordonnées polaires** du point.

Solution

La déclaration de la nouvelle classe point découle directement de l'énoncé :

```
           /*       fichier POINT3.H         */
           /* déclaration de la classe point */
class point
{
   float x, y ;                   // coordonnées (cartésiennes) du point
 public :
   point (float, float) ;         // constructeur
   void deplace (float, float) ;  // déplacement
   void homothetie (float) ;      // homothetie
   void rotation (float) ;        // rotation
   float abscisse () ;            // abscisse du point
   float ordonnee () ;            // ordonnée du point
   float rho () ;                 // rayon vecteur
   float theta () ;               // angle
} ;
```

Sa définition mérite quelques remarques. En effet, si homothetie ne présente aucune difficulté, la fonction membre rotation, quant à elle, nécessite une transformation intermédiaire des coordonnées cartésiennes du point en coordonnées polaires. De même, la fonction membre rho doit calculer le rayon vecteur d'un point dont on connaît les coordonnées cartésiennes tandis que la fonction membre theta doit calculer l'angle d'un point dont on connaît les coordonnées cartésiennes.

Le calcul de rayon vecteur étant simple, nous l'avons laissé figurer dans les deux fonctions concernées (rotation et rho). En revanche, le calcul d'angle a été réalisé par ce que nous nommons une "fonction de service", c'est-à-dire une fonction qui n'a d'intérêt que dans la définition de la classe elle-même. Ici, il s'agit d'une fonction indépendante mais, bien entendu, on peut prévoir des fonctions de service sous forme de fonctions membre (elles seront alors généralement privées).

Voici finalement la définition de notre classe point :

```
     /***************** déclarations de service *****************/
#include "point3.h"
#include <iostream.h>
#include <math.h>                      // pour sqrt et atan
const float pi = 3.141592653 ;         // valeur de pi
float angle (float, float) ;           // fonction de service (non membre)

     /*************** définition des fonctions membre **********/
point::point (float abs, float ord)
{  x = abs ; y = ord ;
}
void point::deplace (float dx, float dy)
{  x += dx ; y += dy ;
}
void point::homothetie (float hm)
{  x *= hm ; y *= hm ;
}
```

```
void point::rotation (float th)
{  float r = sqrt (x*x + y*y) ;        // passage en
   float t = angle (x, y) ;            //   coordonnées polaires
   t += th ;                           // rotation th
   x = r * cos (t) ;                   // retour en
   y = r * sin (t) ;                   //   coordonnées cartésiennes
}

float point::abscisse ()
{ return x ;
}
float point::ordonnee ()
{ return y ;
}
float point::rho ()
{ return sqrt (x*x + y*y) ;
}
float point::theta ()
{ return angle (x, y) ;

}        /********** définition des fonctions de service ***********/
/* fonction de calcul de l'angle correspondant aux coordonnées     */
/*           cartésiennes fournies en argument                     */
/* On choisit une détermination entre -pi et +pi (0 si x=0)        */

float angle (float x, float y)
{  float a = x ? atan (y/x) : 0 ;
   if (y<0) if (x>=0) return a + pi ;
                 else return a - pi ;
   return a ;
}
```

Exercice III.4

Enoncé

Modifier la classe point précédente, de manière à ce que les données (privées) soient maintenant les coordonnées polaires d'un point, et non plus ses coordonnées cartésiennes. On évitera de modifier la déclaration des membres publics, de sorte que l'interface de la classe (ce qui est visible pour l'utilisateur) ne change pas.

Solution

La déclaration de la nouvelle classe découle directement de l'énoncé :

```
/*       fichier POINT4.H         */
/* déclaration de la classe point */
```

```
class point
{
   float r, t ;                    // coordonnées (polaires) du point
 public :
   point (float, float) ;          // constructeur
   void deplace (float, float) ;   // déplacement
   void homothetie (float) ;       // homothétie
   void rotation (float) ;         // rotation
   float abscisse () ;             // abscisse du point
   float ordonnee () ;             // ordonnée du point
   float rho () ;                  // rayon vecteur
   float theta () ;                // angle
} ;
```

En ce qui concerne sa définition, il est maintenant nécessaire de remarquer :

- que le constructeur reçoit toujours en argument les coordonnées cartésiennes d'un point ; il doit donc opérer les transformations appropriées,

- que la fonction deplace reçoit un déplacement exprimé en coordonnées cartésiennes ; il faut donc tout d'abord déterminer les coordonnées cartésiennes du point après déplacement, avant de repasser en coordonnées polaires.

En revanche, les fonctions homothetie et rotation s'expriment très simplement.

Voici la définition de notre nouvelle classe (nous avons fait appel à la même "fonction de service" angle que dans l'exercice précédent) :

```
#include "point4.h"
#include <iostream.h>
#include <math.h>                     // pour cos, sin, sqrt et atan
const int pi = 3.141592635 ;          // valeur de pi



    /********** définition des fonctions de service ***********/
/* fonction de calcul de l'angle correspondant aux coordonnées     */
/*           cartésiennes fournies en argument                     */
/* On choisit une détermination entre -pi et +pi (0 si x=0)        */
float angle (float x, float y)
{  float a = x ? atan (y/x) : 0 ;
   if (y<0) if (x>=0) return a + pi ;
            else return a - pi ;
   return a ;
}
    /********** définition des fonctions membre *****************/
point::point (float abs, float ord)
{  r = sqrt (abs*abs + ord*ord) ;
   t = atan (ord/abs) ;
}
void point::deplace (float dx, float dy)
{  float x = r * cos (t) + dx ;   // nouvelle abscisse
   float y = r * sin (t) + dy ;   // nouvelle ordonnée
   r = sqrt (x*x + y*y) ;
   t = angle (x, y) ;
}
void point::homothetie (float hm)
```

```
{  r *= hm ;
}
void point::rotation (float th)
{  t += th ;
}
float point::abscisse ()
{ return r * cos (t) ;
}
float point::ordonnee ()
{ return r * sin (t) ;
}
float point::rho ()
{ return r ;
}
float point::theta ()
{ return t ;
}
```

Exercice III.5

Enoncé

Soit la classe point crée dans l'exercice III.1, et dont la déclaration était la suivante :

```
class point
{
   float x, y ;
  public :
   point (float, float) ;
   void deplace (float, float) ;
   void affiche () ;
}
```

Adapter cette classse, de manière à ce que la fonction membre affiche fournisse, en plus des coordonnées du point, le nombre d'objets de type point.

Solution

Il faut donc définir un compteur du nombre d'objets existant à un moment donné. Ce compteur doit être incrémenté à chaque création d'un nouvel objet, donc par le constructeur point. De même, il doit être décrémenté à chaque destruction d'un objet, donc par le destructeur de la classe point ; il faudra donc ajouter ici une fonction membre nommée ~ point.

Quant au compteur proprement dit, nous pourrions certes en faire une variable globale, définie par exemple, en même temps que la classe ; cette démarche présente toutefois des risques d'effets de bord (modification

accidentelle de la valeur de cette variable, depuis n'importe quel programme utilisateur). Il est plus judicieux d'en faire un membre privé statique[2].

Voici la nouvelle déclaration de notre classe point :

```
          /*       fichier POINT5.H         */
          /* déclaration de la classe point */
class point
{
   static nb_pts ;                // compteur du nombre d'objets créés
   float x, y ;                   // coordonnées (cartésiennes) du point
 public :
   point (float, float) ;         // constructeur
   ~point () ;                    // destructeur
   void deplace (float, float) ;  // déplacement
   void affiche () ;              // affichage
} ;
```

Et voici sa nouvelle définition :

```
#include "point5.h"
#include <iostream.h>
point::point (float abs, float ord)       // constructeur
{  x = abs ; y = ord ;
   nb_pts++ ;                             //    actualisation nb points
}
point::~point ()                          // destructeur
{  nb_pts-- ;                             //    actualisation nb points
}
void point::deplace (float dx, float dy)
{  x = x + dx ; y = + dy ;
}
void point::affiche ()
{  cout << "Je suis un point parmi " << nb_pts
    << " de coordonnées "<< x << " " << y << "\n" ;
}
```

Remarque :

Il pourraît être judicieux de munir notre classe point d'une fonction membre fournissant le nombre d'objets de type point existant à un moment donné. C'est ce que nous vous proposerons dans un exercice du prochain chapitre.

Exercice III.6

[2] En toute rigueur, il reste toutefois possible d'initialiser un tel membre depuis l'extérieur de la classe.

Enoncé

Réaliser une classe nommée set_char permettant de manipuler des ensembles de caractères. On devra pouvoir réaliser sur un tel ensemble les opérations classiques suivantes : lui ajouter un nouvel élément, connaître son "cardinal" (nombre d'éléments), savoir si un caractère donné lui appartient.

Ici, on n'effectuera **aucune allocation dynamique d'emplacements mémoire**. Il faudra donc prévoir, en membre donnée, un tableau de taille fixe.

Ecrire, en outre, un programme (main) utilisant la classe set_char pour déterminer le nombre de caractères différents contenus dans un mot lu en donnée.

Solution

Compte tenu des contraintes imposées par l'énoncé (pas de gestion dynamique), une solution consiste à prévoir un tableau dans lequel un élément de rang i précise si le caractère de code i appartient ou non à l'ensemble. Notez qu'il est nécessaire que i soit positif ou nul ; on travaillera donc toujours sur des caractères non signés. La taille du tableau doit être égale au nombre de caractères qu'il est possible de représenter dans une implémentation donnée (généralement 256).

Le reste de la déclaration de la classe découle de l'énoncé.

```
          /*         fichier SETCHAR1.H        */
          /* déclaration de la classe set_char */
#define N_CAR_MAX 256       // on pourrait utiliser UCHAR_MAX défini
                            //    dans <limits.h>

class set_char
{
   unsigned char ens [N_CAR_MAX] ;
                     // tableau des indicateurs (présent/absent)
                     // pour chacun des caractères possibles
 public :
   set_char () ;                     // constructeur
   void ajoute (unsigned char) ;     // ajout d'un élément
   int appartient (unsigned char) ;  // appartenance d'un élément
      int cardinal () ;              // cardinal de l'ensemble
} ;
```

La définition de la classe en découle assez naturellement :

```
     /* définition de la classe set_char */
#include "setchar1.h"
set_char::set_char ()
{  int i ;
   for (i=0 ; i<N_CAR_MAX ; i++) ens[i] = 0 ;
}

void set_char::ajoute (unsigned char c)
{   ens[c] = 1 ;
}

int set_char::appartient (unsigned char c)
```

```
{   return ens[c] ;
}

int set_char::cardinal ()
{   int i, n ;
    for (i=0, n=0 ; i<N_CAR_MAX ; i++) if (ens[i]) n++ ;
    return n ;
}
```

Il en va de même pour le programme d'utilisation :

```
     /* utilisation de la classe set_char */
#include <iostream.h>
#include <string.h>
#include "setchar1.h"
main()
{  set_char ens ;
   char mot [81] ;
   cout << "donnez un mot " ;
   cin >> mot ;
   int i ;
   for (i=0 ; i<strlen(mot) ; i++) ens.ajoute (mot[i]) ;
   cout << "il contient " << ens.cardinal () << " caractères différents" ;
}
```

Remarque :

Si l'on avait déclaré de type char les arguments de ajoute et appartient, on aurait alors pu aboutir, soit au type unsigned char, soit au type signed char, selon l'environnement utilisé. Dans le dernier cas, on aurait couru le risque de transmettre, à l'une des fonctions membre citées, une valeur négative, et partant d'accéder à l'extérieur du tableau ens.

Discussion

Le tableau ens [N_CHAR_MAX] occupe un octet par caractère ; chacun de ces octets ne prend que l'une des valeurs 0 ou 1 ; on pourrait économiser de l'espace mémoire en prévoyant seulement 1 bit par caractère. Les fonctions membre y perdraient toutefois en simplicité, ainsi qu'en vitesse.

Bien entendu, beaucoup d'autres implémentations sont possibles ; c'est ainsi, par exemple, que l'on pourrait fournir au constructeur un nombre maximal d'éléments, et allouer dynamiquement l'emplacement mémoire correspondant ; toutefois, là encore, on perdrait le bénéfice de la correspondance immédiate entre un caractère et la position de son indicateur. Notez, toutefois, que ce sera la seule possibilité réaliste lorsqu'il s'agira de représenter des ensembles dans lesquels le nombre maximal d'éléments sera très grand.

Exercice III.7

Enoncé

Modifier la classe set_char précédente, de manière à ce que l'on dispose de ce que l'on nomme un "itérateur" sur les différents éléments de l'ensemble. On nomme ainsi un mécanisme permettant d'accéder séquentiellement aux différents éléments. On prévoira trois nouvelles fonctions membre : init, qui initialise

le processus d'exploration ; prochain, qui fournit l'élément suivant lorsqu'il existe et existe, qui précise s'il existe encore un élément non exploré.

On complétera alors le programme d'utilisation précédent, de manière à ce qu'il affiche les différents caractères contenus dans le mot fourni en donnée.

Solution

Compte tenu de l'implémentation de notre classe, la gestion du mécanisme d'itération nécessite l'emploi d'un pointeur (que nous nommerons courant) sur un élément du tableau ens. Nous conviendrons que courant désigne le premier élément de ens non encore traité dans l'itération, c'est-à-dire non encore renvoyé par la fonction membre suivant (nous aurions pu adopter la convention contraire, à savoir que courant désigne le dernier élément traité).

En outre, pour nous faciliter la reconnaissance de la fin de l'itération, nous utiliserons un membre donnée supplémentaire (fin) valant 0 dans les cas usuels, et 1 lorsque aucun élément ne sera disponible (pour suivant).

Le rôle de la fonction init sera donc de faire pointer courant sur la première valeur non nulle de ens s'il en existe une ; dans le cas contraire, fin sera placé à 1.

La fonction suivant fournira en retour l'élément pointé par courant lorsqu'il existe (fin non nul) ou la valeur 0 dans le cas contraire (il s'agit là d'une convention destinée à protéger l'utilisateur ayant appelé cette fonction, alors qu'aucun élément n'était plus disponible). Dans le premier cas, suivant recherchera le prochain élément de l'ensemble (en modifiant la valeur de fin lorsqu'un tel élément n'existe pas). Notez bien que la fonction suivant doit renvoyer, non pas le prochain élément, mais l'élément courant.

Enfin la fonction existe se contentera de renvoyer la valeur de fin puisque cette dernière indique l'existence ou l'inexistence d'un élément courant.

Voici la nouvelle définition de la classe set_char :

```
          /*         fichier SETCHAR2.H        */
          /* déclaration de la classe set_char */
#define N_CAR_MAX 256       // on pourrait utiliser UCHAR_MAX défini
                            //    dans <limits.h>

class set_char
{
   unsigned char ens [N_CAR_MAX] ;
             // tableau des indicateurs (présent/absent)
             // pour chacun des caractères possibles
   int courant ;  // position courante dans le tableau ens
   int fin ;      // indique si fin atteinte
 public :
   set_char () ;                      // constructeur
   void ajoute (unsigned char) ;      // ajout d'un élément
   int appartient (unsigned char) ;   // appartenance d'un élément
   int cardinal () ;                  // cardinal de l'ensemble
   void init () ;                     // initialisation itération
   unsigned char suivant () ;         // caractère suivant
   int existe () ;                    //
} ;
```

Voici la définition des trois nouvelles fonctions membre init, suivant et existe :

```
void set_char::init ()
{  courant=0 ; fin = 0 ;
   while ( (++courant<N_CAR_MAX) && (!ens[courant]) ) ;
     // si la fin de ens est atteinte, courant vaut N_CAR_MAX
   if (courant>=N_CAR_MAX) fin = 1 ;
}

unsigned char set_char::suivant ()
{   if (fin) return 0 ;  // au cas où on serait déjà en fin de ens
    unsigned char c = courant ;   // conservation du caractère courant
       // et recherche du suivant s'il existe
    while ( (++courant<N_CAR_MAX) && (!ens[courant]) )  ;
       // si la fin de ens est atteinte, courant vaut N_CAR_MAX
    if (courant>=N_CAR_MAX) fin = 1 ;   // s'il n'y a plus de caractère
    return c ;
}

int set_char::existe ()
{   return (!fin) ;
}
```

Voici, enfin l'adaptation du programme d'utilisation :

```
#include <iostream.h>
#include <string.h>
#include "setchar2.h"
main()
{  set_char ens ;
   char mot [81] ;
   cout << "donnez un mot " ;
   cin >> mot ;
   int i ;
   for (i=0 ; i<strlen(mot) ; i++) ens.ajoute (mot[i]) ;
   cout << "il contient " << ens.cardinal () << " caractères différents"
        << " qui sont :\n" ;
   ens.init() ; // init itération sur les caractères de l'ensemble
   while (ens.existe())
     cout << ens.suivant () ;
}
```

CHAPITRE IV :
PROPRIETES DES FONCTIONS MEMBRE

RAPPELS

Surdéfinition des fonctions membre et arguments par défaut

Il s'agit simplement de la généralisation aux fonctions membre des possibilités déjà offertes par C++ pour les "fonctions ordinaires".

Fonctions membre en ligne

Il s'agit également de la généralisation aux fonctions membre d'une possibilité offerte pour les fonctions ordinaires, avec une petite nuance concernant sa mise en oeuvre ; pour rendre "en ligne" une fonction membre, on peut :

- soit fournir directement la définition de la fonction dans la déclaration même de la classe ; dans ce cas le qualificatif inline n'a pas à être utilisé, comme dans cet exemple :

```
class truc
{   ...
    int fctenlig (int, float)
      {     définition de fctenlig
      }
    .....
} ;
```

- soit procéder comme pour une fonction "ordinaire", en fournissant une définition en dehors de la déclaration de la classe ; dans ce cas, le qualificatif inline doit apparaître, à la fois devant la déclaration et devant l'en-tête.

Cas des objets transmis en argument d'une fonction membre

Une fonction membre reçoit implicitement l'adresse de l'objet l'ayant appelé. Mais, en outre, il est toujours possible de lui transmettre explicitement un argument (ou plusieurs arguments) du type de sa classe, ou même du type d'une autre classe. Dans le premier cas, la fonction membre aura accès aux membres privés de l'argument en question (car, en C++, l'unité d'encapsulation est la classe elle-même et non l'objet!). En revanche, dans le second cas, la fonction membre n'aura accès qu'aux membres publics de l'argument.

Un tel argument peut être transmis classiquement par valeur, par adresse ou par référence. Avec la transmission par valeur, il y a recopie des valeurs des membres donnée dans un emplacement local à la fonction appelée. Des problèmes peuvent surgir dès lors que l'objet transmis en argument contient des pointeurs sur des parties dynamiques. Ils seront réglés par l'emploi d'un "constructeur par recopie" (voir chapitre suivant).

Remarque :

Bien que ce soit d'un usage plus limité, une fonction ordinaire peut également recevoir un argument de type classe. Bien entendu, dans ce cas, elle n'aura accès qu'aux membres publics de cet argument.

Cas des fonctions membre fournissant un objet en retour

Une fonction membre peut fournir comme valeur de retour un objet du type de sa classe ou d'un autre type classe (dans ce dernier cas, elle n'accèdera bien sûr qu'aux membres publics de l'objet en question). La transmission peut, là encore, se faire par valeur, par adresse ou par référence.

La transmission par valeur implique une recopie qui pose donc les mêmes problèmes que ceux évoqués ci-dessus pour les objets comportant des pointeurs sur des parties dynamiques. Quant aux transmissions par adresse ou par référence, elles doivent être utilisées avec beaucoup de précautions, dans la mesure où, dans ce cas, on renvoie (généralement) l'adresse d'un objet alloué automatiquement, c'est-à-dire dont la durée de vie coïncide avec celle de la fonction.

Auto-référence : le mot clé this

Au sein d'une fonction membre, *this* représente un pointeur sur l'objet ayant appelé ladite fonction membre.

Fonctions membre statiques

Lorsqu'une fonction membre a une action indépendante d'un quelconque objet de sa classe, on peut la déclarer avec l'attribut static. Dans ce cas, une telle fonction peut être appelée, sans mentionner d'objet particulier, en préfixant simplement son nom du nom de la classe concernée, suivi de l'opérateur de résolution de portée (::).

Fonctions membre constantes

On peut déclarer des objets constants (à l'aide du qualificatif const). Dans ce cas, seules les fonctions membre déclarées (et définies) avec ce même qualificatif (exemple de déclaration : void affiche () const) peuvent recevoir (implicitement ou explicitement) en argument un objet constant.

Exercice IV.1

Enoncé

On souhaite réaliser une classe vecteur3d permettant de manipuler des vecteurs à trois composantes. On prévoit que sa déclaration se présente ainsi :

```
class vecteur3d
{   float x, y, z ;      // pour les 3 composantes (cartésiennes)
    .....
} ;
```

On souhaite pouvoir déclarer un vecteur, soit en fournissant explicitement ses trois composantes, soit en en fournissant aucune, auquel cas le vecteur créé possèdera trois composantes nulles. Ecrire le ou les constructeur(s) correspondant(s) :

a) en utilisant des fonctions membre surdéfinies,

b) en utilisant une seule fonction membre,

c) en utilisant une seule fonction "en ligne".

Solution

Il s'agit de simples applications des possibilités de surdéfinition, d'arguments par défaut et d'écriture "en ligne" des fonctions membres.

a)

```
          /* déclaration de la classe vecteur3d */
class vecteur3d
{
    float x, y, z ;
   public :
    vecteur3d () ;                      // constructeur sans arguments
    vecteur3d (float, float, float) ;   // constructeur 3 composantes
    .....
} ;

    /* définition des constructeurs de la classe vecteur3d */
vecteur3d::vecteur3d ()
{ x = 0 ; y = 0 ; z = 0 ;
}
vecteur3d::vecteur3d (float c1, float c2, float c3)
{ x = c1 ; y = c2 ; z = c3 ;
}
```

b)

```
          /* déclaration de la classe vecteur3d */
class vecteur3d
{
    float x, y, z ;
   public :
    vecteur3d (float=0.0, float=0.0, float=0.0) ; // constructeur (unique)
    .....
} ;
    /* définition du constructeur de la classe vecteur3d */
```

```
vecteur3d::vecteur3d (float c1, float c2, float c3)
{ x = c1 ; y = c2 ; z = c3 ;
}
```

On notera toutefois qu'avec ce constructeur il est possible de déclarer un point en fournissant non seulement 0 ou 3 composantes, mais éventuellement seulement une ou deux. Cette solution n'est donc pas rigoureusement équivalente à la précédente.

c)

```
          /* déclaration de la classe vecteur3d */
class vecteur3d
{   float x, y, z ;
   public :
      // constructeur unique "en ligne"
   vecteur3d (float c1=0.0, float c2=0.0, float c3=0.0) ;
    ..{ x = c1 ; y = c2 ; z = c3 ;
      }.
   .....
} ;
```

Ici, il n'y a plus aucune définition de constructeur, puisque ce dernier est "en ligne".

Exercice IV.2

Enoncé

Soit une classe vecteur3d définie comme suit :

```
class vecteur3d
{   float x, y, z ;
   public :
    vecteur3d (float c1=0.0, float c2=0.0, float c3=0.0)
      { x = c1 ; y = c2 ; z = c3 ;
      }
     ...
} ;
```

Introduire une fonction membre nommée coincide permettant de savoir si deux vecteurs ont mêmes composantes :

a) en utilisant une transmission par valeur,

b) en utilisant une transmission par adresse,

c) en utilisant une transmission par référence.

Si v1 et v2 désignent 2 vecteurs de type vecteur3d, comment s'écrit le test de coïncidence de ces 2 vecteurs, dans chacun des 3 cas considérés?

Solution

La fonction coincide est membre de la classe vecteur3d ; elle recevra donc implicitement l'adresse du vecteur l'ayant appelé. Elle ne possédera donc qu'un seul argument, lui-même de type vecteur3d. Nous supposerons qu'elle fournit une valeur de retour de type int (1 pour la coïncidence, 0 dans le cas contraire).

a) La déclaration de coincide pourra se présenter ainsi :

```
int coincide (vecteur3d) ;
```

Voici ce que pourrait être sa définition :

```
int vecteur3d::coincide (vecteur3d v)
{   if ( (v.x == x) && (v.y == y) && (v.z == z) ) return 1 ;
                                                  else return 0 ;
}
```

b) La déclaration de coincide devient :

```
int coincide (vecteur3d *) ;
```

Et sa nouvelle définition pourrait être :

```
int vecteur3d::coincide (vecteur3d * adv)
{   if ( (adv->x == x) && (adv->y == y) && (adv->z == z) )
                return 1 ;
            else return 0 ;
}
```

Remarque :

En utilisant this, la définition de coincide pourrait faire moins de distinction entre ses deux arguments (l'un implicite, l'autre explicite) :

```
int vecteur3d::coincide (vecteur3d * adv)
{  if ( (adv->x == this->x) && (adv->y == this->y) && (adv->z == this->z) )
                return 1 ;
            else return 0 ;
}
```

c) La déclaration de coincide devient :

```
int coincide (vecteur3d &) ;
```

Et sa nouvelle définition est :

```
int vecteur3d::coincide (vecteur3d & v)
{   if ( (v.x == x) && (v.y == y) && (v.z == z) ) return 1 ;
                                                  else return 0 ;
}
```

Notez que le corps de la fonction est resté le même qu'en a.

Voici les 3 appels de coincide correspondant respectivement aux 3 définitions précédentes :

a) `v1.coincide (v2) ;` ou `v2.coincide (v1) ;`

b) `v1.coincide (&v2)` ou `v2.coincide (&v1) ;`

c) `v1.coincide (v2)` ou `v2.coincide (v1) ;`

Discussion

La surdéfinition d'opérateur offrira une mise en oeuvre plus agréable de ce test de coïncidence de deux vecteurs. C'est ainsi qu'il sera possible de surdéfinir l'opérateur de comparaison == (pour la classe vecteur3d) et, partant, d'exprimer ce test sous la simple forme : v1 == v2.

Exercice IV.3

Enoncé

Soit une classe vecteur3d définie comme suit :

```
class vecteur3d
{   float x, y, z ;
   public :
    vecteur3d (float c1=0.0, float c2=0.0, float c3=0.0)
      { x = c1 ; y = c2 ; z = c3 ;
      }
     .....
} ;
```

Introduire, dans cette classe, une fonction membre nommée normax permettant d'obtenir, parmi deux vecteurs, celui qui a la plus grande norme. On prévoira deux situations :

a) le résultat est renvoyé par valeur,

b) le résultat est renvoyé par référence, l'argument (explicite) étant également transmis par référence.

c) le résultat est renvoyé par adresse, l'argument (explicite) étant également transmis par adresse.

Solution

a) La seule difficulté réside dans la manière de renvoyer la valeur de l'objet ayant appelé une fonction membre, à savoir *this. Voici la définition de la fonction normax (la déclaration en découle immédiatement) :

```
vecteur3d vecteur3d::normax (vecteur3d v)
{  float norm1 = x*x + y*y + z*z ;
   float norm2 = v.x*v.x + v.y*v.y + v.z*v.z ;
   if (norm1>norm2) return *this ;
               else return v ;
```

```
}
```

Voici un exemple d'utilisation (on suppose que v1, v2 et w sont de type vecteur3d) :

```
w = v1.normax (v2) ;
```

Notez bien que l'affectation ne pose aucun problème ici, puisque notre classe ne comporte aucun pointeur sur des parties dynamiques.

b) Aucun nouveau problème ne se pose. Il suffit de modifier ainsi l'en-tête de notre fonction, sans en modifier le corps :

```
vecteur3d & vecteur3d::normax (vecteur3d & v)
```

La fonction normax s'utilise comme précédemment.

c) Il faut, cette fois, adapter en conséquence l'en-tête et le corps de la fonction :

```
vecteur3d *  vecteur3d::normax (vecteur3d * adv)
{  float norm1 = x * x + y * y + z * z ;
   float norm2 = adv->x * adv->x + adv->y * adv->y + adv->z * adv->z ;
   if (norm1>norm2) return this ;
               else return  adv ;
}
```

Ici, l'utilisation de la fonction nécessite quelques précautions. En voici un exemple (v1, v2 et w sont toujours de type vecteur3d) :

```
w = *(v1.normax(&v2))  ;
```

Discussion

En ce qui concerne la transmission de l'unique argument explicite de normax, il faut noter qu'il est impossible de la prévoir par valeur, dès lors que normax doit restituer son résultat par adresse ou par référence. En effet, dans ce cas, on obtiendrait en retour l'adresse ou la référence d'un vecteur alloué automatiquement au sein de la fonction. Notez qu'un tel problème ne se pose pas pour l'argument implicite (this), car il correspond toujours à l'adresse d'un vecteur (transmis automatiquement par référence), et non à une valeur.

Exercice IV.4

Enoncé

Réaliser une classe vecteur3d permettant de manipuler des vecteurs à 3 composantes (de type float). On y prévoira :

- un constructeur, avec des valeurs par défaut (0),
- une fonction d'affichage des 3 composantes du vecteur, sous la forme :

```
< composante1, composante2, composante3 >
```

- une fonction permettant d'obtenir la somme de 2 vecteurs,
- une fonction permettant d'obtenir le produit scalaire de 2 vecteurs.

On choisira les modes de transmission les mieux appropriés. On écrira un petit programme utilisant la classe ainsi réalisée.

Solution

La fonction membre calculant la somme de deux vecteurs (nous la nommerons somme) reçoit implicitement (par référence) un argument de type vecteur3d. Elle comportera donc un seul argument, lui aussi de type vecteur3d. On peut, a priori, le transmettre par adresse, par valeur ou par référence. En fait, la transmission par adresse, en C++, n'a plus guère de raison d'être, dans la mesure où la transmission par référence fait la même chose, moyennant une écriture plus agréable.

Le choix doit donc se faire entre transmission par valeur ou par référence. Lorsqu'il s'agit de transmettre un objet (comportant plusieurs membres donnée), la transmission par référence est plus efficace (en temps d'exécution). Qui plus est, la fonction somme reçoit déjà implicitement un vecteur par référence, de sorte qu'il n'y a aucune raison de lui transmettre différemment le second vecteur.

Le même raisonnement s'applique à la fonction de calcul du produit scalaire (que nous nommons prodscal).

En ce qui concerne la valeur de retour de somme, laquelle est également de type vecteur3d, il n'est, en revanche, pas possible de la tranmettre par référence. En effet, ce "résultat" (de type vecteur3d) sera créé au sein de la fonction elle-même, ce qui signifie que l'objet correspondant sera de classe automatique, donc détruit à la fin de l'exécution de la fonction. Il faut donc absolument en transmettre la valeur.

Voici ce que pourrait être la déclaration de notre classe vecteur3d (ici, seul le constructeur a été prévu "en ligne" :

```
       /* déclaration de la classe vecteur3d */
class vecteur3d
{   float x, y, z ;
  public :
    vecteur3d (float c1=0, float c2=0, float c3=0)  // constructeur
      {  x=c1 ; y=c2 ; z=c3;
      }
    vecteur3d somme (vecteur3d &) ;       // somme (résultat par valeur)
    float prodscal (vecteur3d &) ;        // produit scalaire
    void affiche () ;                     // affichage composantes
} ;
```

Voici sa définition :

```
       /* définition de la classe vect3d */
#include <iostream.h>
vecteur3d vecteur3d::somme (vecteur3d & v)
{   vecteur3d res ;
    res.x = x + v.x ;
    res.y = y + v.y ;
    res.z = z + v.z ;
    return res ;
}
float vecteur3d::prodscal (vecteur3d & v)
{   return ( v.x * x + v.y * y + v.z * z) ;
}
void vecteur3d::affiche ()
```

```
{   cout << "< " << x << ", " << y << ", " << z << ">" ;
}
```

Voici un petit programme d'essai de la classe vecteur3d, accompagné des résultats produit par son exécution :

```
     /* programme d'essai de la classe vecteur3d */
main()
{  vecteur3d v1 (1,2,3), v2 (3,0, 2), w ;
   cout << "v1 = " ; v1.affiche () ; cout << "\n" ;
   cout << "v2 = " ; v2.affiche () ; cout << "\n" ;
   cout << "w = " ;  w.affiche () ;  cout << "\n" ;
   w = v1.somme (v2) ;
   cout << "w = " ;  w.affiche () ;  cout << "\n" ;
   cout << "V1.V2 = " << v1.prodscal (v2) << "\n" ;
}
```

```
v1 = < 1, 2, 3>
v2 = < 3, 0, 2>
w = < 0, 0, 0>
w = < 4, 2, 5>
V1.V2 = 9
```

Exercice IV.5

Enoncé

Comment pourrait-on adapter la classe point créée dans l'exercice III.5, pour qu'elle dispose d'une fonction membre nombre fournissant le nombre de points existant à un instant donné?

Solution

On pourrait certes introduire une fonction membre classique. Toutefois, cette solution présenterait l'inconvénient d'obliger l'utilisateur à appliquer une telle fonction à un objet de type point. Que penser alors d'un appel tel que (p étant un point) p.compte() pour connaître le nombre de points? Qui plus est, comment faire appel à compte s'il n'existe aucun point?

La solution la plus agréable consiste à faire de compte une "fonction statique". On la déclarera donc ainsi :

```
static int compte () ;
```

Voici sa définition :

```
int point::compte ()
{  return nb_pts ;
}
```

Voici un exemple d'appel de compte au sein d'un programme dans lequel la classe point a été déclarée :

```
cout << "il y a " << point::compte () << "points\n" ;
```

CHAPITRE V :
CONSTRUCTION, DESTRUCTION ET INITIALISATION DES OBJETS

RAPPELS

Appels du constructeur et du destructeur

Dans tous les cas (objets statiques, automatiques ou dynamiques), s'il y a appel du **constructeur**, celui-ci a lieu après l'allocation de l'emplacement mémoire destiné à l'objet. De même, s'il existe un **destructeur**, ce dernier est appelé avant la libération de l'espace mémoire associé à l'objet.

Les objets automatiques et statiques

Les objets **automatiques** sont créés par une déclaration soit dans une fonction, soit au sein d'un bloc. Ils sont créés au moment de l'exécution de la déclaration (laquelle, en C++, peut apparaître n'importe où dans un programme). Ils sont détruits lorsque l'on sort de la fonction ou du bloc.

Les objets **statiques** sont créés par une déclaration située en dehors de toute fonction ou par une déclaration précédée du mot clé static (dans une fonction ou dans un bloc). Ils sont créés avant l'entrée dans la fonction main et détruits après la fin de son exécution.

Les objets temporaires

L'appel explicite, au sein d'une expression, du constructeur d'un objet provoque la création d'un objet temporaire (on n'a pas accès à son adresse) qui pourra être automatiquement détruit dès lors qu'il ne sera plus utile (mais le langage ne précise pas quand aura effectivement lieu cette destruction!). Par exemple, si une classe point possède le constructeur point (float, float) et si a est de type point, nous pouvons écrire[1] :

```
a = point (1.5, 2.25) ;
```

Cette instruction provoque la création d'un objet temporaire de type point (avec appel du constructeur concerné), suivie de l'affectation de cet objet à a.

---

[1] Ne confondez pas une telle affectation avec une initialisation d'un objet lors de sa déclaration,

Les objets dynamiques

Ils sont créés par l'opérateur **new**, auquel on doit fournir, le cas échéant, les valeurs des arguments destinés à un constructeur[2], comme dans cet exemple (qui suppose qu'il existe une classe point possédant le constructeur point (float, float) :

```
point * adp ;
   .....
adp = new point (2.5, 5.32) ;
```

L'accès au membres d'un objet dynamique est réalisé comme pour les variables ordinaires. Par exemple, si point possède une méthode nommée affiche, on pourra l'appeler par (*adp).affiche () ou encore par adp->affiche ().

Les objets dynamiques n'ont pas de durée de vie définie a priori. Ils sont détruits à la demande en utilisant l'opérateur **delete** comme dans : delete adr[3].

Initialisation d'objets

En C++, il est très important de distinguer les deux opérations que sont l'initialisation et l'affectation.

Il y a initialisation d'un objet dans l'une des trois situations suivantes :

- déclaration d'un objet avec initialiseur, comme dans :

```
point a = 5 ;   // il doit exister un constructeur à un argument de type entier
point b = a ;   // il doit exister un constructeur à un argument de type point
```

- transmission d'un objet par valeur en argument d'appel d'une fonction,

- transmission d'un objet par valeur en valeur de retour d'une fonction.

L'initialisation d'un objet provoque toujours l'appel d'un constructeur particulier, nommé **constructeur par recopie** ; plus précisément :

- si aucun constructeur de l'une des formes type (type &) ou type (const type &) (type désignant le type de l'objet) n'a été défini, il y aura appel d'un "constructeur de recopie par défaut" ; ce dernier recopie les valeurs des différents membres donnée de l'objet, comme le fait l'affectation. Des problèmes peuvent alors se poser dès lors que l'objet contient des pointeurs sur des parties dynamiques.

- si un constructeur de la forme type (type &) ou, mieux, type (const type &) existe, il sera appelé. Notez qu'alors le constructeur par recopie par défaut n'est plus appelé. C'est donc au constructeur par recopie de prévoir la recopie de tous les membres de l'objet.

Remarque : une exception

Lorsque l'on initialise un objet par un simple d'appel d'un constructeur comme dans (en supposant que le type point dispose d'un constructeur approprié) :

```
point a = point (1.3, 4.5)
```

il n'y a pas d'appel d'un constructeur par recopie, précédée de la création d'un objet temporaire. La déclaration précédente est rigoureusement équivalente à :

```
point a (1.3, 4.5) ;
```

---

[2] Comme pour les variables ordinaires, on peut préciser un nombre d'objets mais des restrictions apparaissent alors quant au constructeur qu'il est possible d'appeler (voyez ci-dessous la rubrique "tableaux d'objets").

[3] Dans le cas d'un tableau d'objets, on devra préciser, en plus, son nombre d'éléments.

Les tableaux d'objets

Si point est un type objet possédant un constructeur sans argument (ou, situation généralement déconseillée, sans constructeur), la déclaration :

```
point courbe [20] ;
```

crée un tableau courbe de 20 objets de type point en appelant, le cas échéant, le constructeur pour chacun d'entre eux. Notez toutefois que courbe n'est pas lui-même un objet.

De même :

```
point * adcourbe = new point [20] ;
```

alloue l'emplacement mémoire nécessaire à vingt objets (consécutifs) de type point, en appelant, le cas échéant, le constructeur pour chacun d'entre eux, puis place l'adresse du premier dans adcourbe.

La destruction d'un tableau d'objets se fait en utilisant l'opérateur **new** (en précisant, dans les versions inférieures à la 3.0, le nombre d'éléments du tableau). Par exemple, pour détruire le tableau précédent, on écrira :

```
delete [] adcourbe ;                  // depuis la version 3.0
```

ou :

```
delete [20] adcourbe ;               // versions antérieures à la 3.0
```

Remarque :

En théorie, depuis la version 2.0 de C++, on peut compléter la déclaration d'un tableau d'objets par un initialiseur contenant une liste de valeurs (elles peuvent éventuellement être de types différents). Chaque valeur est alors transmise à un constructeur approprié. Cette facilité ne peut toutefois pas s'appliquer aux tableaux dynamiques (il en va de même pour les tableaux ordinaires!).

Construction d'objets contenant des objets membre

Une classe peut posséder un membre donnée qui est lui-même de type classe. En voici un exemple ; si nous avons défini :

```
class point
{   float x, y ;
   public :
    point (float, float) ;
    .....
} ;
```

nous pouvons définir une classe pointcol, dont un membre est de type point :

```
class pointcol
{   point p ;
    int couleur ;
   public :
    pointcol (float, float, int) ;
    .....
```

```
} ;
```

Dans ce cas, lors de la création d'un objet de type pointcol, il y aura tout d'abord appel d'un constructeur de pointcol, puis appel d'un constructeur de point ; ce dernier recevra les arguments qu'on aura mentionné dans l'en-tête de la définition du constructeur de pointcol ; par exemple, avec :

```
pointcol::pointcol (float abs, float ord, int coul) : p (abs, ord)
{   ...
}
```

on précise que le constructeur du membre p recevra en argument les valeurs abs et ord.

Si l'en-tête de pointcol ne mentionnait rien concernant p, il faudrait alors que le type point possède un constructeur sans argument pour que cela soit correct.

Initialisation d'objets contenant des objets membre

Depuis la version 2.0 de C++, le constructeur par recopie par défaut procède "membre par membre" ; cela signifie que si l'un des membres est lui-même un objet, il est recopié en appelant son propre constructeur par recopie (qui pourra être soit un constructeur par défaut, soit un constructeur défini dans la classe correspondante). Dans les versions antérieures, la recopie se faisait de façon globale ; autrement dit, la "valeur" d'un objet était reportée ("bit par bit") dans une autre, sans tenir compte de sa structure.

Les différences entre ces deux modes de recopie seront particulièrement sensibles dans la situation suivante :

- objet membre comportant des pointeurs sur des emplacements dynamiques et ayant défini son constructeur par recopie ;
- objet principal n'ayant pas défini de constructeur par recopie.

Depuis la version 2.0, la construction par recopie d'un tel objet fonctionnera convenablement (s'il ne contient pas lui-même de pointeur), puisqu'il y aura bien appel du constructeur par recopie de l'objet membre. Dans les versions antérieures, en revanche, ce constructeur par recopie, bien qu'existant, ne sera pas utilisé et les choses seront beaucoup moins satisfaisantes.

Exercice V.1

Enoncé

Comment concevoir le type classe chose de façon à ce que ce petit programme :

```
main()
{
   chose x ;
   cout << "bonjour\n" ;
}
```

fournisse les résultats suivants :

```
création objet de type chose
bonjour
destruction objet de type chose
```

Que fournira alors l'exécution de ce programme (utilisant le même type chose) :

```
main()
{
   chose * adc = new chose
}
```

Solution

Il suffit de prévoir dans le constructeur de chose, l'instruction :

```
cout << "création objet de type chose\n" ;
```

et dans le destructeur, l'instruction :

```
cout << "destruction objet de type chose\n" ;
```

Dans ce cas, le deuxième programme fournira simplement à l'exécution (puisqu'il crée un objet de type chose sans jamais le détruire) :

```
création objet de type chose
```

Exercice V.2

Enoncé

Quels seront les résultats fournis par l'exécution du programme suivant (ici, la déclaration de la classe demo, sa définition et le programme d'utilisation ont été regroupés en un seul fichier) :

```
#include <iostream.h>

class demo
{  int x, y ;
  public :
   demo (int abs=1, int ord=0)   // constructeur I (0, 1 ou 2 arguments)
     { x = abs ;  y = ord ;
       cout << "constructeur I            : " << x << " " << y << "\n" ;
     }
   demo (demo&) ;                // constructeur II (par recopie)
   ~demo () ;                    // destructeur
} ;

demo::demo (demo & d)
{  cout << "constructeur II (recopie) : " << d.x << " " << d.y << "\n" ;
   x = d.x ;  y = d.y ;
}
demo::~demo ()
{  cout << "destruction               : " << x << " " << y << "\n" ;
}
```

```
main ()
{
   void fct (demo, demo *) ;        // proto fonction indépendante fct
   cout << "début main\n" ;
   demo a ;
   demo b = 2 ;
   demo c = a ;
   demo * adr = new demo (3,3) ;
   fct (a, adr) ;
   demo d = demo (4,4) ;
   c = demo (5,5) ;
   cout << "fin main\n" ;
}

void fct (demo d, demo * add)
{   cout << "entrée fct\n" ;
    delete add ;
    cout << "sortie fct\n" ;
}
```

Solution

Voici les résultats (commentés) que fournit le programme (ici, nous avons utilisé le compilateur Turbo C++[4]) :

```
début main
constructeur I             : 1 0      demo a ;
constructeur I             : 2 0      demo b = 2 ;
constructeur II (recopie)  : 1 0      demo c = a ;
constructeur I             : 3 3      new demo (3,3)
constructeur II (recopie)  : 1 0      recopie de la valeur de a dans fct (a, ..)
                                            (crée un objet temporaire)
entrée fct
destruction                : 3 3      delete add ;    (dans fct)
sortie fct
constructeur I             : 4 4      demo d = demo (4, 4) ;
constructeur I             : 5 5      c = demo (5,5)   (construction objet temporaire)
fin main
destruction                : 5 5      destruction objet temporaire   (peut se
                                            faire à un autre moment
destruction                : 4 4      destruction d
destruction                : 1 0      destruction objet temporaire créé pour l'appel
                                            de fct (peut apparaître ailleurs)
destruction                : 5 5      destruction c
destruction                : 2 0      destruction b
destruction                : 1 0      destruction a
```

Notez bien que l'affectation c = demo (5,5) entraîne la création d'un objet temporaire par appel du constructeur de demo (arguments 5 et 5) ; cet objet est ensuite affecté à a. On constate d'ailleurs que cet

[4] Ce point n'a en fait d'importance que pour les objets temporaires.

objet est effectivement détruit (ici, après l'exécution du main, mais, dans d'autres implémentations, cela peut se produire plus tôt).

Par ailleurs, l'appel de fct a entraîné la construction d'un objet temporaire, par appel du constructeur par recopie. Nous aurions pu penser que cet objet serait libéré à la sortie de la fonction. Ici, ce n'est pas le cas mais cela pourrait l'être dans d'autres implémentations.

Discussion

Cet exemple devrait vous mettre en garde contre le fait que de nombreux objets temporaires peuvent prendre naissance dans un programme, sans même qu'on s'en rende compte ; des problèmes d'encombrement de la mémoire peuvent apparaître dans les implémentations qui ne libèrent pas les emplacement temporaires, dès que cela est devenu possible.

Exercice V.3

Enoncé

Créer une classe point ne contenant qu'un constructeur sans arguments, un destructeur et un membre donnée privé représentant un numéro de point (le premier créé portera le numéro 1, le suivant le numéro 2, et ainsi de suite...). Le constructeur affichera le numéro du point créé et le destructeur affichera le numéro du point détruit. Ecrire un petit programme d'utilisation créant dynamiquement un tableau de 4 points et le détruisant.

Solution

Pour pouvoir numéroter nos points, il nous faut pouvoir compter le nombre de fois où le constructeur a été appelé, ce qui nous permettra bien d'attribuer un numéro différent à chaque point. Pour ce faire, nous définissons, au sein de la classe point, un membre donnée statique nb_points. Ici, il sera incrémenté par le constructeur mais le destructeur n'aura pas d'action sur lui.

Voici la déclaration (définition) de notre classe, accompagnée du programme d'utilisation demandé :

```
#include <iostream.h>
class point
{   int num;
    static nb_points ;
  public :
    point ()
       {  num = ++nb_points ;
          cout << "création point numéro    : " << num << "\n" ;
       }
    ~point ()
       {  cout << "Destruction point numéro : " << num << "\n" ;
       }
} ;

main()
{  point * adcourb = new point [4] ;
```

```
   int i ;
   delete [4] adcourb ;
}
```

Exercice V.4

Enoncé

1) Réaliser une classe nommée set_int permettant de manipuler des ensembles de nombres entiers. On devra pouvoir réaliser sur un tel ensemble les opérations classiques suivantes : lui ajouter un nouvel élément, connaître son "cardinal" (nombre d'éléments), savoir si un entier donné lui appartient.

Ici, on conservera les différents éléments de l'ensemble dans un tableau alloué dynamiquement par le constructeur. Un argument (auquel on pourra prévoir une valeur par défaut) lui précisera le nombre maximal d'éléments de l'ensemble.

2) Ecrire, en outre, un programme (main) utilisant la classe set_int pour déterminer le nombre d'entiers différents contenus dans un tableau d'entiers lus en donnée.

3) Que faudrait-il faire pour qu'un objet du type set_int puisse être transmis par valeur, soit comme argument d'appel, soit comme valeur de retour d'une fonction.

Solution

1) La déclaration de la classe découle de l'énoncé :

```
            /*         fichier SETINT1.H        */
            /* déclaration de la classe set_int */
class set_int
{
   int * adval ;               // adresse du tableau des valeurs
   int nmax ;                  // nombre maxi d'éléments
   int nelem ;                 // nombre courant d'éléments
 public :
   set_int (int = 20) ;        // constructeur
   ~set_int () ;               // destructeur
   void ajoute (int) ;         // ajout d'un élément
   int appartient (int) ;      // appartenance d'un élément
   int cardinal () ;           // cardinal de l'ensemble
} ;
```

Le membre donnée adval est destiné à pointer sur le tableau d'entiers qui sera alloué par le constructeur. Le membre nmax représentera la taille de ce tableau, tandis que nelem fournira le nombre effectif d'entiers stockés dans ce tableau. Ces entiers seront, cette fois, rangés dans l'ordre où ils seront fournis à ajoute, et non plus à un emplacement prédéterminé, comme nous l'avions fait pour les caractères (dans les exercices du chapitre précédent).

Comme la création d'un objet entraîne ici une allocation dynamique d'un emplacement mémoire, il est raisonnable de prévoir la libération de cet emplacement lors de la destruction de l'objet ; cette opération doit donc être prise en charge par le destructeur, d'où la présence de cette fonction membre.

Voici la définition de notre classe :

```
#include "setint1.h"
set_int::set_int (int dim)
{  adval = new int [nmax = dim] ;     // allocation tableau de valeurs
   nelem = 0 ;
}
set_int::~set_int (
{  delete adval ;                     // libération tableau de valeurs
}

void set_int::ajoute (int nb)
{   // on examine si nb appartient déjà à l'ensemble
    //   en utilisant la fonction membre appartient
    // s'il n'y appartient pas et si l'ensemble n'est pas plein
    //   on l'ajoute
   if (!appartient (nb) && (nelem<nmax))  adval [nelem++] = nb ;
}
int set_int::appartient (int nb)
{  int i ;
    // on examine si nb appartient déjà à l'ensemble
    //  (dans ce cas i vaudra nele en fin de boucle)
   while ( (i<nelem) && (adval[i] != nb) ) i++ ;
   return (i<nelem) ;
}
int set_int::cardinal ()
{  return nelem ;
}
```

Notez que, dans la fonction membre ajoute, nous avons utilisé la fonction membre appartient pour vérifier que le nombre à ajouter ne figurait pas déjà dans notre ensemble.

Par ailleurs, l'énoncé ne prévoit rien pour le cas où l'on cherche à ajouter un élément à un ensemble déjà "plein" ; ici, nous nous sommes contenté de ne rien faire dans ce cas. Dans la pratique, il faudrait, soit prévoir un moyen pour l'utilisateur d'être prévenu de cette situation, soit, mieux, prévoir automatiquement l'agrandissement de la zone dynamique associée à l'ensemble.

2) Voici le programme d'utilisation demandé :

```
#include <iostream.h>
#include "setint1.h"
main()
{  set_int ens ;
   cout << "donnez 20 entiers \n" ;
   int i, n ;
   for (i=0 ; i<20 ; i++)
      { cin >> n ;
     ens.ajoute (n) ;
      }
   cout << "il y a : " << ens.cardinal () << " entiers différents\n" ;
}
```

3) Tel qu'est actuellement prévue notre classe set_int, si un objet de ce type est transmis par valeur, soit en argument d'appel, soit en retour d'une fonction, il y a appel du constructeur de recopie par défaut ; or, ce dernier se contente d'effectuer une copie des membres donnée de l'objet concerné. Ce qui signifie qu'on se retrouve alors en présence de deux objets contenant deux pointeurs différents sur un même tableau d'entiers. Un problème va donc se poser, dès lors que l'objet copié sera détruit (ce qui peut se produire, dès la sortie

de la fonction) ; en effet, dans ce cas, le tableau dynamique d'entiers sera détruit, alors même que l'objet d'origine continuera à "pointer" dessus.

Indépendamment de cela, d'autres problèmes similaires pourrait se poser si la fonction était amenée à modifier le contenu de l'ensemble : dans ce cas, en effet, on modifierait le tableau d'entiers original, chose à laquelle on ne s'attend pas dans le cas de transmission par valeur.

Pour régler ces problèmes, il est nécessaire de munir notre classe d'un constructeur par recopie approprié. Que doit-il faire? Plusieurs solutions existent ; la plus élégante est certainement ce que l'on nomme la gestion d'un "compteur de référence". Nous la rencontrerons plus tard, associée, généralement à la surdéfinition de l'opérateur d'affectation (qui pose des problèmes analogues à ceux que nous venons d'évoquer).

Pour l'instant, nous utiliserons une démarche plus simple qui consiste à recopier totalement l'objet concerné, c'est-à-dire en tenant compte de sa "partie dynamique" (on parle parfois de "copie profonde"). Pour ce faire, on alloue un second emplacement pour un tableau d'entiers, dans lequel on recopie les valeurs du premier ensemble. Naturellement, il ne faut pas oublier alors de procéder également à la recopie des membres donnée, puisque celle-ci n'est plus assurée par le constructeur de recopie par défaut (lequel n'est plus appelé, dès lors qu'un constructeur par recopie a été défini).

Nous ajouterons donc, dans la déclaration de notre classe :

```
set_int (set_int &) ;          // constructeur par recopie
```

Et, dans sa définition :

```
set_int::set_int (set_int & e)
{  adval = new int [nmax = e.nmax] ;  // allocation nouveau tableau
   nelem = e.nelem ;
   int i ;
   for (i=0 ; i<nelem ; i++)          // copie ancien tableau dans nouveau
    adval[i] = e.adval[i] ;
}
```

Discussion

La méthode proposée a le mérite d'être facile à programmer et elle ne nécessite pas d'autres modifications que l'ajout d'une méthode supplémentaire. Elle a l'inconvénient de dupliquer totalement l'objet, ce qui entraîne une perte de mémoire. La méthode du compteur de référence (que nous rencontrerons plus tard) évite cette duplication ; en contre partie, sa mise en oeuvre est beaucoup plus délicate et elle ne se borne plus au simple ajout d'une méthode.

Quelle que soit la méthode employée, on constate que la surdéfinition du constructeur par recopie est quasi indispensable pour toute classe comportant un pointeur sur une partie dynamique. Dans l'état actuel de C++, il n'est pas possible d'interdire la transmission par valeur d'un objet qui n'en posséderait pas! Et il ne semble pas raisonnable de livrer à un "client" une tel objet, en lui demandant de ne jamais le transmettre par valeur! Ce qui signifie que la plupart des classes "intéressantes" devront définir un tel constructeur par recopie.

Nous verrons que les mêmes réflexions s'appliqueront à l'affectation entre objets et qu'elles conduiront à la conclusion que la plupart des classes "intéressantes" devront redéfinir l'opérateur d'affectation.

Exercice V.5

Enoncé

Modifier l'implémentation de la classe précédente (avec son constructeur par recopie) de façon à ce que l'ensemble d'entiers soit maintenant représenté par une *liste chaînée* (chaque entier est rangé dans une structure comportant un champ destiné à contenir un nombre et un champ destiné à contenir un pointeur sur la structure suivante). L'interface de la classe (la partie publique de sa déclaration) devra rester inchangée, ce qui signifie qu'un client de la classe continuera à l'employer de la même façon.

Solution

Comme nous le suggère l'énoncé, nous allons donc définir une structure que nous nommerons élément :

```
struct noeud
{  int valeur ;                // valeur d'un élément de l'ensemble
   noeud * suivant ;           // pointeur sur le noeud suivant de la liste
} ;
```

Notez que nous pouvons, en C++, écrire simplement noeud * suivant, là où C nous aurait imposé struct noeud * suivant.

Notre structure noeud peut être définie indifféremment dans la déclaration de la classe set_int ou en dehors.

En ce qui concerne les membres donnée privés de la classe, nous ne conserverons que nelem qui, bien que non indispensable, nous évitera de parcourir toute la liste pour déterminer le cardinal de notre ensemble.

En revanche, nous y introduirons un pointeur nommé debut, destiné à contenir l'adresse du premier élément de la liste, s'il existe (au départ, il sera initialisé à NULL).

En ce qui concerne le constructeur de set_int, nous lui conserverons son argument (de type int), bien qu'ici il n'ait plus aucun intérêt, et cela dans le but de ne pas modifier l'interface de notre classe (comme le demandait l'énoncé).

Voici donc la nouvelle déclaration de notre classe :

```
          /*         fichier SETINT3.H        */
          /* déclaration de la classe set_int */
struct noeud
{  int valeur ;                // valeur d'un élément de l'ensemble
   noeud * suivant ;           // pointeur sur le noeud suivant de la liste
} ;

class set_int
{
   noeud * debut ;             // pointeur sur le début de la liste
   int nelem ;                 // nombre courant d'éléments
 public :
   set_int (int = 20) ;        // constructeur  (argument inutile ici)
   set_int (set_int &) ;       // constructeur par recopie
   ~set_int () ;               // destructeur
   void ajoute (int) ;         // ajout d'un élément
   int appartient (int) ;      // appartenance d'un élément
   int cardinal () ;           // cardinal de l'ensemble
} ;
```

La définition du nouveau constructeur ne présente pas de difficulté. La fonction membre ajoute réalise une classique insertion d'un noeud en début de liste et incrémente le nombre d'éléments de l'ensemble. La fonction appartient effectue une exploration de liste, tant qu'elle n'a pas trouvé la valeur concernée ou atteint la fin de la liste. En revanche, le nouveau constructeur par recopie doit recopier la liste chaînée. Il réalise à la fois une exploration de la liste d'origine et une insertion dans la liste copiée. Quant au destructeur, il doit maintenant libérer systématiquement tous les emplacements des différents noeuds créés pour la liste.

Voici la nouvelle définition de notre classe :

```
#include <stdlib.h>          // pour NULL
#include "setint3.h"

set_int::set_int (int dim)   // dim est conservé pour la compatibilité
                        // avec l'ancienne classe
{  debut = NULL ;
   nelem = 0 ;
}

set_int::set_int (set_int & e)
{  nelem = e.nelem ;
       // création d'une nouvelle liste identique à l'ancienne
   noeud * adsource = e.debut  ;
   noeud * adbut ;
   debut = NULL ;
   while (adsource)
       { adbut = new noeud ;                 // création nouveau noeud
         adbut->valeur = adsource->valeur ; // copie valeur
         adbut->suivant = debut ;           // insertion nouveau noeud
         debut = adbut ;                    //     dans nouvelle liste
         adsource = adsource->suivant ;     // noeud suivant ancienne liste
       }
}

set_int::~set_int ()
{   noeud * adn ;
    noeud * courant = debut ;
    while (courant)
    { adn = courant ;                  // libération de tous
      courant = courant->suivant ;     //    les noeuds
      delete adn ;                     //    de la liste
    }
}

void set_int::ajoute (int nb)
{
   if (!appartient (nb) )          // si nb n'appartient pas à la liste
     { noeud * adn = new noeud ;   // on l'ajoute en début de liste
       adn->valeur = nb ;
       adn->suivant = debut ;
       debut = adn ;
       nelem++ ;
     }
}

int set_int::appartient (int nb)
{  noeud * courant = debut ;
       // attention à l'ordre des deux conditions
```

```
    while (courant && (courant->valeur != nb) ) courant = courant->suivant ;
    return (courant != NULL) ;
}

int set_int::cardinal ()
{  return nelem ;
}
```

Notez que le programme d'utilisation proposé dans l'exercice V.4 reste valable ici, puisque nous n'avons précisément pas modifié l'interface de notre classe.

Par ailleurs, le problème évoqué à propos de l'ajout d'un élément à un ensemble "plein" ne se pose plus ici, compte tenu de la nouvelle implémentation de notre classe.

Exercice V.6

Enoncé

Modifier la classe set_int précédente (implémentée sous forme d'une liste chaînée - avec ou sans son constructeur par recopie) pour qu'elle dispose de ce que l'on nomme un "itérateur" sur les différents éléments de l'ensemble. Rappelons qu'on nomme ainsi un mécanisme permettant d'accéder séquentiellement aux différents éléments de l'ensemble. On prévoira trois nouvelles fonctions membre : init, pour intialiser le processus d'itération ; prochain , pour fournir l'élément suivant lorsqu'il existe et existe, pour tester s'il existe encore un élément non exploré.

On complétera alors le programme d'utilisation précédent (en fait, celui de l'exercice V.4), de manière à ce qu'il affiche les différents entiers contenus dans les valeurs fournies en donnée.

N.B. Cet exercice sera plus profitable s'il est traité après l'exercice du chapitre III qui proposait l'introduction d'un tel itérateur dans une classe représentant des ensembles de caractères (mais dont l'implémentation était différente de l'actuelle classe).

Solution

Ici, la gestion du mécanisme d'itération nécessite l'emploi d'un pointeur (que nous nommerons courant) sur un noeud de notre liste. Nous conviendrons qu'il pointe sur le premier élément non encore traité dans l'itération, c'est-à-dire dont la valeur correspondante n'a pas encore été renvoyée par la fonction prochain. Il n'est pas utile, ici, de prévoir un membre donnée pour indiquer si la fin de liste a été atteinte ; en effet, avec la convention adoptée, il nous suffit de tester la valeur de courant (qui sera égale à NULL, lorsque l'on sera en fin de liste).

Le rôle de la fonction init se limite à l'initialisation de courant à la valeur du pointeur sur le début de la liste (debut).

La fonction suivant fournira en retour la valeur entière associée au noeud pointé par courant lorsqu'il existe (courant différent de NULL) ou la valeur 0 dans le cas contraire (il s'agit, là encore, d'une convention destinée à protéger l'utilisateur ayant appelé cette fonction, alors que la fin de liste était déjà atteinte et, donc, qu'aucun élément de l'ensemble n'était disponible). De plus, dans le premier cas (usuel), la fonction suivant actualisera la valeur de courant, de manière à ce qu'il pointe sur le noeud suivant.

Enfin, la fonction existe examinera simplement la valeur de debut pour savoir s'il existe encore un élément à traiter.

Voici la déclaration complète de notre nouvelle classe :

```
           /*         fichier SETINT4.H        */
           /* déclaration de la classe set_int */
struct noeud
{  int valeur ;                // valeur d'un élément de l'ensemble
   noeud * suivant ;           // pointeur sur le noeud suivant de la liste
} ;

class set_int
{
   noeud * debut ;             // pointeur sur le début de la liste
   int nelem ;                 // nombre courant d'éléments
   noeud * courant ;           // pointeur sur noeud courant
 public :
   set_int (int = 20) ;        // constructeur
   set_int (set_int &) ;       // constructeur par recopie
   ~set_int () ;               // destructeur
   void ajoute (int) ;         // ajout d'un élément
   int appartient (int) ;      // appartenance d'un élément
   int cardinal () ;           // cardinal de l'ensemble
   void init () ;              // initialisation itération
   int prochain () ;           // entier suivant
   int existe () ;             // test fin liste
} ;
```

Voici la définition des trois nouvelles fonctions membre init, suivant et existe :

```
void set_int::init ()
{  courant = debut ;
}


int set_int::prochain ()
{  if (courant)
      { int val = courant->valeur ;
        courant = courant->suivant ;
        return val ;
      }
     else return 0 ;    // par convention
}

int set_int::existe ()
{  return (courant != NULL) ;
}
```

Voici le nouveau programme d'utilisation demandé :

```
      /* utilisation de la classe set_int */
#include <iostream.h>
#include "setint1.h"
main()
```

```
{  void fct (set_int) ;
   set_int ens ;
   cout << "donnez 20 entiers \n" ;
   int i, n ;
   for (i=0 ; i<20 ; i++)
      { cin >> n ;
        ens.ajoute (n) ;
      }
   cout << "il y a : " << ens.cardinal () << " entiers différents\n" ;
   cout << "Ce sont : \n" ;
   ens.init () ;
   while (ens.existe ())
      cout << ens.prochain() << " " ;
}
```

CHAPITRE VI :
LES FONCTIONS AMIES

RAPPELS

En C++, l'unité de protection est la classe, et non pas l'objet. Cela signifie qu'une fonction membre d'une classe peut accéder à tous les membres privés de n'importe quel objet de sa classe. En revanche, ces membres privés restent inaccessibles à n'importe quelle fonction membre d'une autre classe ou à n'importe quelle fonction indépendante.

La notion de fonction amie, ou plus exactement de "déclaration d'amitié", permet de déclarer dans une classe, les fonctions que l'on autorise à accéder à ses membres privés (données ou fonctions). Il existe plusieurs situations d'amitié.

a) Fonction indépendante, amie d'une classe A

```
class A
{
   ......
   friend --- fct (-----) ;
   .....
}
```

La fonction fct ayant le prototype spécifié est autorisée à accéder aux membres privés de la classe A.

Généralement, la fonction membre fct possèdera un argument ou une valeur de retour de type A (ce qui justifiera sa déclaration d'amitié). Pour traduire sa définition, le compilateur devra posséder les caractéristiques de A, donc disposer de sa déclaration.

b) Fonction membre d'une classe B, amie d'une autre classe A

```
class A
{
   .....
   friend --- B:fct (-----) ;
   .....
} ;
```

La fonction membre fct de la classe B (ayant le prototype spécifié) est autorisée à accéder aux membres privés de la classe A.

Pour qu'il puisse compiler convenablement la déclaration ci-dessus, le compilateur devra simplement "savoir" que B est une classe. Si la définition de la classe B n'a pas encore été compilée, on lui précisera simplement cette information par la déclaration :

```
class A ;
```

Généralement la fonction membre fct possèdera un argument ou une valeur de retour de type A (ce qui justifiera sa déclaration d'amitié). Pour compiler sa déclaration (au sein de la déclaration de A), le compilateur devra, là encore, savoir simplement que A est une classe. En revanche, pour compiler la définition de fct, le compilateur devra posséder les caractéristiques de A, donc disposer de sa déclaration.

c) Toutes les fonctions d'une classe B sont amies d'une autre classe A

Dans ce cas, plutôt que d'utiliser autant de déclarations d'amitié que de fonctions membre, on utilise (dans la déclaration de la classe A) la déclaration (globale) suivante :

```
friend class B ;
```

Pour compiler la déclaration de A, on précisera simplement que A est une classe par class A ; quant à la déclaration de la classe B, elle nécessitera généralement (dès qu'une de ses fonctions membre possèdera un argument ou une valeur de retour de type A) la déclaration de la classe A.

Exercice VI.1

Enoncé

Soit la classe point suivante :

```
class point
{   int x, y ;
   public :
    point (int abs=0, int ord=0)
      { x = abs ; y = ord ;
      }
} ;
```

Ecrire une fonction indépendante affiche, amie de la classe point, permettant d'afficher les coordonnées d'un point. On fournira séparément un fichier source contenant la nouvelle déclaration (définition) de point et un fichier source contenant la définition de la fonction affiche. Ecrire un petit programme (main) qui crée un point de classe automatique et un point de classe dynamique et qui en affiche les coordonnées.

Solution

Nous devons donc réaliser une fonction indépendante, nommée affiche, amie de la classe point. Une telle fonction, contrairement à une fonction membre, ne reçoit plus d'argument implicite ; affiche devra donc recevoir un argument de type point. Son prototype sera donc de la forme :

```
void affiche (point) ;
```

si l'on souhaite tranmettre un point par valeur, ou de la forme :

```
void affiche (point &) ;
```

si l'on souhaite transmettre un point par référence. Ici, nous choisirons cette dernière possibilité et, comme affiche n'a aucune raison de modifier les valeurs du point reçu, nous le protégerons à l'aide du qualificatif const :

```
void affiche (const point &) ;
```

Manifestement, affiche devra pouvoir accéder aux membres privés x et y de la classe point. Il faut donc prévoir une déclaration d'amitié au sein de cette classe, dont voici la nouvelle déclaration :

```
          /*         fichier POINT1.H        */
          /* déclaration de la classe point */
class point
{   int x, y ;
  public :
    friend void affiche (const point &) ;
    point (int abs=0, int ord=0)
       { x=abs ; y=ord ;
       }
} ;
```

Pour écrire affiche, il nous suffit d'accéder aux membres (privés) x et y de son argument de type point. Si ce dernier se nomme p, les membres en question se notent (classiquement) p.x et p.y. Voici la définition de affiche :

```
#include <iostream.h>
#include "point1.h"          // nécessaire pour compiler affiche
void affiche (const point & p)
{   cout << "Coordonnées : " << p.x << " " << p.y << "\n" ;
}
```

Notez bien que la compilation de affiche nécessite la déclaration de la classe point, et pas seulement une déclaration telle que class point, car le compilateur doit connaître les caractéristiques de la classe point (notamment, ici, la localisation des membres x et y).

Voici le petit programme d'essai demandé :

```
#include "point1.h"
main()
{  point a(1,5) ;
   affiche (a) ;
   point * adp ;
   adp = new point (2, 12) ;
   affiche (*adp) ;              // attention *adp et non adp
```

```
}
```

Notez que nous n'avons pas eu à fournir le prototype de la fonction indépendante affiche, car il figure dans la déclaration de la classe point. Le faire constituerait d'ailleurs une erreur.

Exercice VI.2

Enoncé

Soit la classe vecteur3d définie dans l'exercice IV.2 par :

```
class vecteur3d
{   float x, y, z ;
   public :
    vecteur3d (float c1=0.0, float c2=0.0, float c3=0.0)
      { x = c1 ; y = c2 ; z = c3 ;
      }
     .....
} ;
```

Ecrire une fonction indépendante coincide, amie de la classe vecteur3d, permettant de savoir si deux vecteurs ont mêmes composantes (cette fonction remplacera la fonction membre coincide qu'on demandait d'écrire dans l'exercice IV.2).

Si v1 et v2 désignent deux vecteurs de type vecteur3d, comment s'écrit maintenant le test de coïncidence de ces deux vecteurs?

Solution

La fonction coincide va donc disposer de deux arguments de type vecteur3d. Si l'on prévoit de les transmettre par référence, en interdisant leur éventuelle modification dans la fonction, le prototype de coincide sera :

```
int coincide (const vecteur3d &, const vecteur3d &) ;
```

Voici la nouvelle déclaration de notre classe :

```
          /*         fichier vect3D.H        */
          /* déclaration de la classe vecteur3d */
class vecteur3d
{   float x, y, z ;
  public :
    friend int coincide (const vecteur3d &, const vecteur3d &) ;
    vecteur3d (float c1=0, float c2=0, float c3=0)
       {  x = c1 ; y = c2 ; z = c3 ;
       }
} ;
```

et la définition de la fonction coincide :

```
#include "vect3d.h"          // nécessaire pour compiler coincide
```

```
int coincide (const vecteur3d & v1, const vecteur3d & v2)
{   if ( (v1.x == v2.x) && (v1.y == v2.y) && (v1.z == v2.z) )
            return 1 ;
         else return 0 ;
}
```

Le test de coïncidence de deux vecteurs s'écrit maintenant :

```
coincide (v1, v2)
```

On notera que, tant dans la définition de coincide que dans ce test, on voit se manifester la symétrie du problème, ce qui n'était pas le cas lorsque nous avions fait de coincide une fonction membre de la classe vecteur3d.

Exercice VI.3

Enoncé

Créer deux classes (dont les membres donnée sont privés) :

- l'une, nommée vect, permettant de représenter des vecteurs à 3 composantes de type double ; elle comportera un constructeur et une fonction membre d'affichage,
- l'autre nommée matrice, permettant de représenter des matrices carrées de dimension 3x3 ; elle comportera un constructeur avec un argument (adresse d'un tableau de 3x3 valeurs) qui initialisera la matrice avec les valeurs correspondantes.

Réaliser une fonction indépendante prod permettant de fournir le vecteur correspondant au produit d'une matrice par un vecteur. Ecrire un petit programme de test. On fournira séparément les deux déclarations de chacune des classes, leurs deux définitions, la définition de prod et le programme de test.

Solution

Ici, pour nous faciliter l'écriture, nous représenterons les composantes d'un vecteur par un tableau à trois éléments et les valeurs d'une matrice par un tableau à 2 indices. La fonction de calcul du produit d'un vecteur par une matrice doit obligatoirement pouvoir accéder aux données des deux classes, ce qui signifie qu'elle devra être déclarée "amie" dans chacune de ces deux classes.

En ce qui concerne ses deux arguments (de type vect et mat), nous avons choisi la transmission la plus efficace, c'est-à-dire la transmission par référence. Quant au résultat (de type vect), il doit obligatoirement être renvoyé par valeur (nous en reparlerons dans la définition de prod).

Voici la déclaration de la classe vect :

```
                    /* fichier vect1.h */
class matrice ;         // pour pouvoir compiler la déclaration de vect
```

```
class vect
{   double v[3] ;       // vecteur à 3 composantes
  public :
    vect (double v1=0, double v2=0, double v3=0)       // constructeur
      { v[0] = v1 ; v[1]=v2 ; v[2]=v3 ; }
    friend vect prod (const matrice &, const vect &) ;// fonction amie indépendante
    void affiche () ;
} ;
```

et la déclaration de la classe mat :

```
                  /* fichier mat1.h */
class vect ;              // pour pouvoir compiler la déclaration de matrice
class matrice
{   double mat[3] [3] ;       // matrice 3 X 3
  public :
    matrice () ;                  // constructeur avec initialisation à zéro
    matrice (double t [3] [3] ) ; // constructeur à partir d'un tableau 3 x 3
    friend vect prod (const matrice &, const vect &) ;  // fonction amie indépendante
} ;
```

Notez que nous avons déclaré constants les arguments de la fonction matrice. Il s'agit simplement d'une précaution destinée à prévenir le risque d'une faute de programmation conduisant, au sein de la définition de matrice, à une modification desdits arguments.

La définition des fonctions membre (en fait affiche) de la classe vect ne présente pas de difficultés :

```
#include <iostream.h>
#include "vect1.h"
void vect::affiche ()
{ int i ;
  for (i=0 ; i<3 ; i++) cout << v[i] << " " ;
  cout << "\n" ;
}
```

Il en va de même pour les fonctions membre (en fait le constructeur) de la classe mat :

```
#include <iostream.h>
#include "mat1.h"
matrice::matrice (double t [3] [3])
{ int i ; int j ;
  for (i=0 ; i<3 ; i++)
    for (j=0 ; j<3 ; j++)
       mat[i] [j] = t[i] [j] ;
}
```

La définition prod nécessite les fichiers contenant les déclarations de vect et de mat :

```
#include "vect1.h"
#include "mat1.h"
vect prod (const matrice & m, const vect & x)
{  int i, j ;
   double som ;
   vect res ;       // pour le résultat du produit
   for (i=0 ; i<3 ; i++)
     { for (j=0, som=0 ; j<3 ; j++)
```

```
            som += m.mat[i] [j] * x.v[j] ;
         res.v[i] = som ;
      }
   return res ;
}
```

Notez que cette fonction crée un objet automatique res de classe vect. Il ne peut donc être renvoyé que par valeur. Dans le cas contraire, la fonction appelante récupérerait l'adresse d'un emplacement libéré au moment de la sortie de la fonction.

Voici, enfin, un exemple de programme de test :

```
#include "vect1.h"
#include "mat1.h"
main()
{
   vect w (1,2,3) ;
   vect res  ;
   double tb [3][3] = { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 } ;
   matrice a =  tb  ;
   res = prod(a, w) ;
   res.affiche () ;
}
```

CHAPITRE VII :
LA SURDEFINITION D'OPERATEURS

RAPPELS

C++ vous permet de surdéfinir les opérateurs existants, c'est-à-dire de leur donner une nouvelle signification lorsqu'ils portent (en partie ou en totalité) sur des objets de type classe.

Le mécanisme de la surdéfinition d'opérateurs

Pour surdéfinir un opérateur existant op, on définit une fonction nommée operator op (on peut placer un ou plusieurs espaces entre le mot operator et l'opérateur, mais ce n'est pas une obligation) :

- soit sous forme d'une fonction indépendante (généralement amie d'une ou de plusieurs classes),
- soit sous forme d'une fonction membre d'une classe.

Dans le premier cas, si op est un opérateur binaire, la notation a op b est équivalente à :

```
operator op (a, b)
```

Dans le deuxième cas, la même notation est équivalente à :

```
a.operator op (b)
```

Les possibilités et les limites de la surdéfinition d'opérateurs

On doit se limiter aux opérateurs existants, en conservant leur "pluralité" (unaire, binaire). Les opérateurs ainsi surdéfinis gardent leur priorité et leur associativité habituelle (voir tableau récapitulatif, en page 93).

Un opérateur surdéfini doit toujours posséder un opérande de type classe (on ne peut donc pas modifier les significations des opérateurs usuels). Il doit donc s'agir :

- soit d'une fonction membre, auquel cas elle dispose obligatoirement d'un argument implicite du type de sa classe (this),
- soit d'une fonction indépendante (ou plutôt amie) possédant au moins un argument de type classe.

Il ne faut pas faire d'hypothèse sur la signification a priori d'un opérateur ; par exemple, la signification de += pour une classe ne peut, en aucun cas, être déduite de la significaiton de + et de = pour cette même classe.

Cas particuliers

Les opérateurs [], (), -> , new et delete doivent obligatoirement être définis comme fonctions membre.

Les opérateurs = (affectation) et & (pointeur sur) possèdent une signification prédéfinie pour les objets de n'importe quel type classe. Cela ne les empêche nullement d'être surdéfinis.

La surdéfinition de new, pour un type classe donné, se fait par une fonction de prototype :

```
void * new (size_t)
```

Elle reçoit, en unique argument, la taille de l'objet à allouer (cet argument sera généré automatiquement par le compilateur, lors d'un appel de new), et elle doit fournir en retour l'adresse de l'objet alloué.

La surdéfinition de delete, pour un type donné, se fait par une fonction de prototype :

```
void delete (type *)
```

Elle reçoit, en unique argument, l'adresse de l'objet à libérer.

Tableau récapitulatif

PLURALITE	OPERATEURS	ASSOCIATIVITE
Binaire	() [] ->	->
Unaire	+ - ++ -- ! ~ * & new delete (cast)	<-
Binaire	* / %	->
Binaire	+ -	->
Binaire	<< >>	->
Binaire	< <= >	->
Binaire	== !=	->
Binaire	&	->
Binaire	^	->
Binaire	||	->
Binaire	&&	->
Binaire	|	->
Binaire	= += -= *= /= %= &= ^= |= <<= >>=	<-
Binaire	,	->

Les opérateurs surdéfinissables en C++ (classés par priorité décroissante)

(1) S'il n'est pas surdéfini, il possède une signification par défaut.
(2) Depuis la version 2.0 seulement.

(3) Doit être défini comme fonction membre.
(4) A un "niveau global" avant la version 2.0. Depuis la version 2.0, il peut, en outre, être surdéfini pour une classe ; dans ce cas, il doit l'être comme fonction membre.
(5) Jusqu'à la version 3.0, on ne peut pas distinguer entre les notations "pré" et "post". Depuis la version 3.0, ces opérateurs (lorsqu'ils sont définis de façon unaire) correspondent à la notation "pré" ; mais il en existe une définition binaire (avec deuxième opérande fictif de type int) qui correspond à la notation "post".

Remarque:

Même lorsque l'on a surdéfini les opérateurs new et delete pour une classe, il reste possible de faire appel aux opérateurs new et delete usuels, en utilisant l'opérateur de résolution de portée (::).

Exercice VII.1

Enoncé

Soit une classe vecteur3d définie comme suit :

```
class vecteur3d
{  float x, y, z ;
  public :
   vecteur3d (float c1=0.0, float c2=0.0, float c3=0.0)
     { x = c1 ; y = c2 ; z = c3 ;
     }
} ;
```

Définir les opérateurs == et !=, de manière à ce qu'ils permettent de tester la coïncidence ou la non-coïncidence de deux points :

- en utilisant des fonctions membre,
- en utilisant des fonctions amies.

Solution

a) Avec des fonctions membre

Il suffit donc de prévoir, dans la classe vecteur3d, deux fonctions membre de nom operator == et operator !=, recevant un argument de type vecteur3d correspondant au second argument des opérateurs (le premier opérande étant fourni par l'argument implicte - this - des fonctions membre). Voici la déclaration complète de notre classe, accompagnée des définitions des opérateurs :

```
class vecteur3d
{  float x, y, z ;
  public :
   vecteur3d (float c1=0.0, float c2=0.0, float c3=0.0)
     { x = c1 ; y = c2 ; z = c3 ;
     }
   int operator == (vecteur3d) ;
   int operator != (vecteur3d) ;
```

```
} ;

int vecteur3d::operator == (vecteur3d v)
{  if ( (v.x == x) && (v.y == y) && (v.z ==z) ) return 1 ;
                                    else return 0 ;
}
int vecteur3d::operator != (vecteur3d v)
{  return ! ( (*this) == v ) ;
}
```

Notez que, dans la définition de !=, nous nous sommes servi de l'opérateur ==. En pratique, on sera souvent amené à réécrire entièrement la définition d'un tel opérateur, pour de simples raisons d'efficacité (d'ailleurs, pour les mêmes raisons, on placera "en ligne" les fonctions operator == et operator !=).

b) Avec des fonctions amies

Il faut donc prévoir de déclarer comme amies, dans la classe vecteur3d, deux fonctions (operator == et operator !=), recevant deux arguments de type vecteur3d correspondant aux deux opérandes des opérateurs Voici la nouvelle déclaration de notre classe, accompagnée des définitions des opérateurs :

```
class vecteur3d
{  float x, y, z ;
  public :
   vecteur3d (float c1=0.0, float c2=0.0, float c3=0.0)
     { x = c1 ; y = c2 ; z = c3 ;
     }
   friend int operator == (vecteur3d, vecteur3d) ;
   friend int operator != (vecteur3d, vecteur3d) ;
} ;
int operator == (vecteur3d v, vecteur3d w)
{  if ( (v.x == w.x) && (v.y == w.y) && (v.z == w.z) ) return 1 ;
                                                  else return 0 ;
}
int operator != (vecteur3d v, vecteur3d w)
{  return ! ( v == w ) ;
}
```

Remarque:

Voici, à titre indicatif, un exemple de programme utilisant n'importe laquelle des deux classes vecteur3d que nous venons de définir.

```
#include "vecteur3d.h"
#include <iostream.h>
main()
{  vecteur3d v1 (3,4,5), v2 (4,5,6), v3 (3,4,5) ;
   cout << "v1==v2 : " << (v1==v2) << " v1!=v2 : " << (v1!=v2) << "\n" ;
   cout << "v1==v3 : " << (v1==v3) << " v1!=v3 : " << (v1!=v3) << "\n" ;
}
```

Exercice VII.2

Enoncé

Soit la classe vecteur3d définie ainsi :

```
class vecteur3d
{  float x, y, z ;
  public :
   vecteur3d (float c1=0.0, float c2=0.0, float c3=0.0)
     { x = c1 ; y = c2 ; z = c3 ;
     }
} ;
```

Définir l'opérateur binaire + pour qu'il fournisse la somme de deux vecteurs, et l'opérateur binaire * pour qu'il fournisse le produit scalaire de deux vecteurs. On choisira ici des fonctions amies.

Solution

Il suffit de créer deux fonctions amies nommées operator + et operator *. Elles recevront deux arguments de type vecteur3d ; la première fournira en retour un objet de type vecteur3d, la seconde fournira en retour un float.

```
class vecteur3d
{  float x, y, z ;
  public :
   vecteur3d (float c1=0.0, float c2=0.0, float c3=0.0)
     { x = c1 ; y = c2 ; z = c3 ;
     }
   friend vecteur3d operator  + (vecteur3d, vecteur3d) ;
   friend float operator * (vecteur3d, vecteur3d) ;
} ;

vecteur3d operator + (vecteur3d v, vecteur3d w)
{  vecteur3d res ;
   res.x = v.x + w.x ;
   res.y = v.y + w.y ;
   return res ;
}

float operator * (vecteur3d v, vecteur3d w)
{  return (v.x * w.x + v.y * w.y + v.z * w.z) ;
}
```

Remarque :

Il est possible de transmettre par référence les arguments des deux fonctions amies concernées. En revanche, il n'est pas possible de demander à operator + de transmettre son résultat par référence, puisque ce dernier est créé dans la fonction même, sous forme d'un objet de classe automatique. En toute rigueur, operator * pourrait transmettre son résultat (float) par référence, mais cela n'a guère d'intérêt en pratique.

Exercice VII.3

Enoncé

Soit la classe vecteur3d définie ainsi :

```
class vecteur3d
{  float v[3] ;
  public :
   vecteur3d (float c1=0.0, float c2=0.0, float c3=0.0)
     {   // à compléter
     }
} ;
```

Compléter la définition du constructeur ("en ligne"), puis définir l'opérateur [] pour qu'il permette d'accéder à l'une des trois composantes d'un vecteur, et cela, aussi bien au sein d'une expression (... = v1[i]) qu'à gauche d'un opérateur d'affectation (v1[i] = ...) ; de plus, on cherchera à se protéger contre d'éventuels risques de débordement d'indice.

Solution

La définition du constructeur ne pose aucun problème. En ce qui concerne l'opérateur [], le C++ ne permet de le surdéfinir que sous forme d'une fonction membre (cette exception est justifiée par le fait que l'objet concerné ne doit pas risquer d'être soumis à une conversion, lorsqu'il apparaît à gauche d'une affectation). Elle possédera donc un seul argument de type int et elle renverra un résultat de type vecteur3d.

Pour que notre opérateur puisse être utilisé à gauche d'une affectation, il faut absolument que le résultat soit renvoyé par référence. Pour nous protéger d'un éventuel débordement d'indice, nous avons simplement prévu que toute tentative d'accès à un élément en dehors des limites conduirait à accéder au premier élément.

Voici la déclaration de notre classe, accompagnée de la définition de la fonction operator [].

```
class vecteur3d
{  float v [3] ;
  public :
   vecteur3d (float c1=0.0, float c2=0.0, float c3=0.0)
     { v[0] = c1 ; v[1] = c2 ; v[2] = c3 ;
     }
   float & operator [] ( int) ;
} ;

float & vecteur3d::operator [] (int i)
{  if ( (i<0) || (i>2) ) i = 0 ;     // pour éviter un "débordement"
   return v[i] ;
}
```

Remarque:

A titre indicatif, voici un petit exemple de programme faisant appel à notre classe vecteur3d :

```
#include "vecteur3d.h"
#include <iostream.h>
main()
{  vecteur3d v1 (3,4,5) ;
   int i ;
   cout << "v1 = " ;
   for (i=0 ; i<3 ; i++) cout << v1[i] << " " ;
   for (i=0 ; i<3 ; i++) v1[i] = i ;
   cout << "\nv1 = "  ;
   for (i=0 ; i<3 ; i++) cout << v1[i] << " " ;
}
```

Exercice VII.4

Enoncé

L'exercice V.4 vous avait proposé de créer une classe set_int permettant de représenter des ensembles de nombres entiers :

```
class set_int
{
   int * adval ;               // adresse du tableau des valeurs
   int nmax ;                  // nombre maxi d'éléments
   int nelem ;                 // nombre courant d'éléments
 public :
   set_int (int = 20) ;        // constructeur
   ~set_int () ;               // destructeur
   ......  // autres fonctions membre
} ;
```

Son implémentation prévoyait de placer les différents éléments dans un tableau alloué dynamiquement ; aussi l'**affectation** entre objets de type set_int posait-elle des problèmes, puisqu'elle aboutissait à des objets différents comportant des pointeurs sur un même emplacement dynamique.

Modifier la classe set_int pour qu'elle ne présente plus de telles lacunes. On prévoira que tout objet de type set_int comporte son propre emplacement dynamique, comme on l'avait fait pour permettre la transmission par valeur (ce ne serait pas le cas si l'on cherchait à utiliser une technique de "compteur de référence"). De plus, on s'arrangera pour que l'affectation multiple soit utilisable.

Solution

Nous sommes en présence d'un problème voisin de celui posé par le constructeur par recopie ; nous l'avions résolu en prévoyant ce que l'on appelle une "copie profonde" de l'objet concerné (c'est-à-dire une copie, non seulement de l'objet lui-même, mais de toutes ses parties dynamiques). Quelques différences supplémentaires surgissent néanmoins ; en effet, ici :

- on peut se trouver en présence d'une affectation d'un objet à lui-même,

- avant affectation, il existe deux objets "complets" (avec leur partie dynamique), alors que dans le cas du constructeur par recopie, il n'existait qu'un seul objet, le second étant à créer.

Voici comment nous traiterons une affectation telle que b = a, dans le cas où b sera différent de a :

- libération de l'emplacement pointé par b,

- création dynamique d'un nouvel emplacement dans lequel on recopie les valeurs de l'emplacement désigné par a,

- mise en place des valeurs des membres donnée de b.

Dans le cas où a et b désignent le même objet (on s'en assurera dans l'opérateur d'affectation, en comparant les adresses des objets concernés), on évitera d'appliquer ce mécanisme qui conduirait à un emplacement dynamique pointé par "personne", et qui, donc, ne pourrait jamais être libéré. En fait, on se contentera de... ne rien faire dans ce cas.

Par ailleurs, pour que l'affectation multiple (telle que c = b= a) fonctionne correctement, il est nécessaire que notre opérateur renvoie une valeur de retour (elle sera de type set_int) représentant la valeur de son premier opérande (après affectation, c'est-à-dire, la valeur de b après b=a).

Voici ce que pourraît être la définition de notre fonction operator = (en ce qui concerne la déclaration de la classe set_int, il suffirait d'y ajouter set_int & operator = (set_int &) :

```
set_int & set_int::operator = (set_int & e)
// surdéfinition de l'affectation - les commentaires correspondent à b = a
{  if (this != &e)                      // on ne fait rien pour a = a
     { delete adval ;                   // libération partie dynamique de b
       adval = new int [nmax = e.nmax] ; // allocation nouvel ensemble pour a
       nelem = e.nelem ;                //      dans lequel on recopie
       int i ;                          //      entièrement l'ensemble b
       for (i=0 ; i<nelem ; i++)        //      avec sa partie dynamique
        adval[i] = e.adval[i] ;
     }
   return * this ;
}
```

Remarques:

1) Une telle surdéfinition d'un opérateur d'affectation pour une classe possédant des parties dynamiques ne sera valable que si elle est associée à une surdéfinition comparable du constructeur par recopie (pour la classe set_int, celle proposée dans la solution de l'exercice V.4 convient parfaitement).

2) A priori, seule la valeur du premier opérande a vraiment besoin d'être transmise par référence (pour que = puisse le modifier!) ; cette condition est obligatoirement remplie puisque notre opérateur doit être surdéfini comme fonction membre. Toutefois, en pratique, on utilisera également la transmission par référence, à la fois pour le second opérande et pour la valeur de retour, de façon à être plus efficace (en temps). Notez d'ailleurs que si l'opérateur = renvoyait son résultat par valeur, il y aurait alors appel du constructeur de recopie (la remarque précédente s'appliquerait alors à une simple affectation).

Exercice VII.5

Enoncé

Considérer à nouveau la classe set_int créée dans l'exercice V.4 (et sur laquelle est également fondé l'exercice précédent) :

```
class set_int
{
   int * adval ;               // adresse du tableau des valeurs
   int nmax ;                  // nombre maxi d'éléments
   int nelem ;                 // nombre courant d'éléments
 public :
   set_int (int = 20) ;        // constructeur
   ~set_int () ;               // destructeur
   ......
} ;
```

Adapter cette classe, de manière à ce que :

- l'on puisse ajouter un élément à un ensemble de type set_int par (e désignant un objet de type set_int et n un entier) : e < n ;

- e[n] prenne la valeur 1 si n appartient à e et la valeur 0 dans le cas contraire. On s'arrangera pour qu'une instruction de la forme e[i] = ... soit rejetée à la compilation.

Solution

Il nous faut donc surdéfinir l'opérateur binaire <, de manière à ce qu'il reçoive comme opérandes un objet de type set_int et un entier. Bien que l'énoncé ne prévoie rien, il est probable que l'on souhaitera pouvoir écrire des choses telles que (e étant de type set_int, n et p des entiers) :

```
e < n < p ;
```

Cela signifie donc que notre opérateur devra fournir comme valeur de retour l'ensemble concerné, après qu'on lui a ajouté l'élément voulu.

Nous pouvons indifféremment utiliser ici une fonction membre ou une fonction amie. Nous choisirons la première possibilité. Par ailleurs, nous transmettrons les opérandes et la valeur de retour par référence (ici, c'est possible car l'objet correspondant n'est pas créé au sein de l'opérateur même, c'est-à-dire qu'il n'est pas de classe automatique) ; ainsi notre opérateur fonctionnera même si le constructeur par recopie n'a pas été surdéfini (en pratique, toutefois, il faudra le faire dès qu'on souhaitera pouvoir transmettre la valeur d'un objet de type set_int en argument).

En ce qui concerne l'opérateur [], il doit être surdéfini comme fonction membre, comme l'impose le C++, et cela bien qu'ici une affectation telle e[i] = soit interdite (alors que c'est précisément pour l'autoriser que C++ oblige d'en faire une fonction membre!). Pour interdire de telles affectations, la démarche la plus simple consiste à faire en sorte que le résultat fourni par l'opérateur ne soit pas une "lvalue", en la transmettant par valeur.

Voici quelle pourrait être la définition de nos deux opérateurs (notez que nous utilisons [] pour définir <) :

```
        /* surdéfinition de < */
set_int & set_int::operator < (int nb)
{   // on examine si nb appartient déjà à l'ensemble
    //   en utilisant l'opérateur []
   if ( ! (*this)[nb] && (nelem < nmax) )  adval [nelem++] = nb ;
   return (*this) ;
}

        /* surdéfinition de [] */
int set_int::operator [] (int nb)     // attention résultat par valeur
```

```
{  int i=0 ;
    // on examine si nb appartient déjà à l'ensemble
    //  (dans ce cas i vaudra nele en fin de boucle)
   while ( (i<nelem) && (adval[i] != nb) ) i++ ;
   return (i<nelem) ;
}
```

Exercice VII.6

Enoncé

Soit une classe vecteur3d définie comme suit :

```
class vecteur3d
{  float v [3] ;
  public :
   vecteur3d (float c1=0.0, float c2=0.0, float c3=0.0)
     { v[0] = c1 ; v[1] = c2 ; v[2] = c3 ;
     }
   //   à compléter
} ;
```

Définir l'opérateur [] de manière à ce que :

- il permette d'accéder "normalement" à un élément d'un objet non constant de type vecteur3d, et cela aussi bien dans une expression qu'en opérande de gauche d'une affectation,

- il ne permette que la consultation (et non la modification) d'un objet constant de type vecteur3d (autrement dit, si v est un tel objet, une instruction de la forme v[i] = ... devra être rejetée à la compilation).

Solution

Rappelons que lorsque l'on définit des objets constants (qualificatif const), il n'est pas possible, a priori, de leur appliquer une fonction membre publique, sauf si cette dernière a été déclarée avec le qualificatif const (auquel cas, une telle fonction peut indifféremment être utilisée avec des objets constants ou non constants). Ici, nous devons donc définir une fonction membre constante de nom operator [].

Par ailleurs, pour qu'une affectation de la forme v[i] = ... soit interdite, il est nécessaire que notre opérateur renvoie son résultat par valeur (et non par adresse comme on a généralement l'habitude de le faire).

Dans ces conditions, on voit qu'il est nécessaire de prévoir deux fonctions membre différentes, pour traiter chacun des deux cas : objet constant ou objet non constant. Le choix de la "bonne fonction" sera assuré par le compilateur, en fonction de la présence ou de l'absence de l'attribut const pour l'objet concerné.

Voici la définition complète de notre classe, accompagnée de la définition des deux fonctions operator [] :

```
class vecteur3d
{  float v [3] ;
  public :
   vecteur3d (float c1=0.0, float c2=0.0, float c3=0.0)
```

```
      { v[0] = c1 ; v[1] = c2 ; v[2] = c3 ;
      }
   float   operator [] (int) const ; // [] pour un vecteur constant
   float & operator [] (int) ;       // [] pour un vecteur non constant
} ;

         /******** operator [] pour un objet non constant *******/
float & vecteur3d::operator [] (int i)
{  if ( (i<0) || (i>2) ) i = 0 ;     // pour éviter un "débordement"
   return v[i] ;
}

         /********** operator [] pour un objet constant *********/
float   vecteur3d::operator [] (int i) const
{  if ( (i<0) || (i>2) ) i = 0 ;     // pour éviter un "débordement"
   return v[i] ;
}
```

A titre indicatif, voici un petit programme utilisant la classe vecteur3d ainsi définie, accompagné du résultat produit par son exécution :

```
#include "vecteur3d.h"
#include <iostream.h>
main()
{  int i ;
   vecteur3d v1 (3,4,5) ;
   const vecteur3d v2 (1,2,3) ;
   cout << "V1 : " ;
   for (i=0 ; i<3 ; i++) cout << v1[i] << " " ;
   cout << "\nV2 : " ;
   for (i=0 ; i<3 ; i++) cout << v2[i] << " " ;
   for (i=0 ; i<3 ; i++) v1[i] = i ;
   cout << "\nV1 : " ;
   for (i=0 ; i<3 ; i++) cout << v1[i] << " " ;
//      v2[1] = 3 ;  est bien rejeté à la compilation
}
```

```
V1 : 3 4 5
V2 : 1 2 3
V1 : 0 1 2
```

Exercice VII.7

Enoncé

Définir une classe vect permettant de représenter des "vecteurs dynamiques", c'est-à-dire des vecteurs dont la dimension peut ne pas être connue lors de la compilation. Plus précisément, on prévoira de déclarer de tels vecteurs par une instruction de la forme :

```
vect t(exp) ;
```

dans laquelle exp désigne une expression quelconque (de type entier).

On définira, de façon appropriée, l'opérateur [] de manière à ce qu'il permette d'accéder à des éléments d'un objet d'un type vect comme on le ferait avec un tableau classique.

On ne cherchera pas à résoudre les problèmes posés éventuellement par l'affectation ou la transmission par valeur d'objets de type vect. En revanche, on s'arrangera pour qu'aucun risque de "débordement" d'indice n'existe.

Solution

Les éléments d'un objet de type vect doivent obligatoirement être rangés en mémoire dynamique. L'emplacement correspondant sera donc alloué par le constructeur qui en recevra la taille en argument. Le destructeur devra donc, naturellement, libérer cet emplacement. En ce qui concerne l'accès à un élément, il se fera en surdéfinissant l'opérateur [], comme nous l'avons déjà fait au cours des précédents exercices ; rappelons qu'il faudra obligatoirement le faire sous forme d'une fonction membre.

Pour nous protéger d'un éventuel débordement d'indice, nous ferons en sorte qu'une tentative d'accès à un élément situé en dehors du vecteur conduise à accéder à l'élément de rang 0.

Voici ce que pourraient être la déclaration et la définition de notre classe :

```
      /********** déclaration de la classe vect ********/
class vect
{  int nelem ;         // nombre d'éléments
   int * adr ;         // adresse zone dynamique contenant les éléments
 public :
   vect (int) ;               // constructeur
   ~vect () ;                 // destructeur
   int & operator [] (int) ;  // accès à un élément par son "indice"
} ;

      /*********** définition de la classe vect ********/
vect::vect (int n)
{  adr = new int [nelem = n] ;
   int i ;
   for (i=0 ; i<nelem ; i++) adr[i] = 0 ;
}
vect::~vect ()
{  delete adr ;
}
int & vect::operator [] (int i)
{  if ( (i<0)  || (i>=nelem) ) i=0 ;    // protection
   return adr [i] ;
}
```

Voici un petit exemple de programme d'utilisation d'une telle classe :

```
#include <iostream.h>
#include "vect.h"
main()
{  vect v(6) ;
   int i ;
   for (i=0 ; i<6 ; i++) v[i] = i ;
   for (i=0 ; i<6 ; i++) cout << v[i] << " " ;
}
```

Exercice VII.8

Enoncé

En s'inspirant de l'exercice précédent, on souhaite créer une classe int2d permettant de représenter des tableaux dynamiques d'entiers à deux indices, c'est-à-dire des tableaux dont les dimensions peuvent ne pas être connues lors de la compilation. Plus précisément, on prévoira de déclarer de tels tableaux par une déclaration de la forme :

```
int2d t(exp1, exp2) ;
```

dans laquelle exp1 et exp2 désignent une expression quelconque (de type entier).

a) Dire pourquoi il n'est pas possible, ici, de surdéfinir ici l'opérateur [] pour accéder à des éléments d'un tel tableau.

b) Surdéfinir, de façon appropriée, l'opérateur () de manière à ce qu'il permette d'accéder à des éléments d'un objet d'un type int2d comme on le ferait avec un tableau classique. Là encore, on ne cherchera pas à résoudre les problèmes posés éventuellement par l'affectation ou la transmission par valeur d'objets de type int2d. En revanche, on s'arrangera pour qu'il n'existe aucun risque de débordement d'indice.

Solution

a) L'opérateur [] ne peut être surdéfini que sous forme binaire. Il n'est donc pas possible de l'employer sous la forme t[i, j] pour accéder à un élément d'un tableau dynamique. On pourrait alors penser à l'utiliser sous la forme habituelle t[i][j] . Or, cette écriture doit être interprétée comme (t[i]) [j]), ce qui signifie qu'on n'y applique plus le second opérateur à un objet de type int2d.

Compte tenu de ce que, de surcroît, [] doit être défini comme fonction membre, l'écriture en question demanderait de définir [] pour une classe int2d, en s'arrangeant pour qu'il fournisse un résultat ("vecteur ligne") lui-même de type classe, afin de pouvoir, dans ce nouveau type classe, surdéfinir à nouveau [] pour qu'il fournisse un résultat de type int. Il n'est donc pas possible d'obtenir le résultat souhaité sans définir d'autres classes que int2d.

b) Comme dans l'exercice précédent, les éléments d'un objet de type int2d doivent obligatoirement être rangés en mémoire dynamique. L'emplacement correspondant sera donc alloué par le constructeur qui en déduira la taille des deux dimensions reçues en arguments Le destructeur libérera cet emplacement.

Nous devons décider de la manière dont seront rangés les différents éléments en mémoire, à savoir "par ligne" ou "par colonne" (en toute rigueur, cette terminologie fait référence à la façon dont on a l'habitude de visualiser des tableaux à deux dimensions, ce que l'on nomme une ligne correspondant en fait à des éléments ayant même valeur du premier indice). Nous choisirons ici la première solution (c'est celle utilisée par C ou C++ pour les tableaux à deux dimensions). Ainsi, un élément repéré par les valeurs i et j des 2 indices sera situé à l'adresse (adv désignant l'adresse de l'emplacement dynamique alloué au tableau) :

```
adv + i * ncol + j
```

En ce qui concerne l'accès à un élément, il se fera en surdéfinissant l'opérateur (), d'une manière comparable à ce que nous avions fait pour [] ; là encore, C++ impose que () soit défini comme fonction membre.

Pour nous protéger d'un éventuel débordement d'indice, nous ferons en sorte qu'une valeur incorrecte d'un indice conduise à "faire comme si" on lui avait attribué la valeur 0.

Voici ce que pourraient être la déclaration et la définition de notre classe :

```
      /******** déclaration de la classe int2d ********/
class int2d
{  int nlig ;         // nombre de "lignes"
   int ncol ;         // nombre de "colonnes"
   int * adv ;        // adresse emplacement dynamique contenant les valeurs
  public :
   int2d (int nl, int nc) ;         // constructeur
   ~int2d () ;                      // destructeur
   int & operator () (int, int) ;   // accès à un élément, par ses 2 "indices"
} ;
      /*********** définition du constructeur **********/
int2d::int2d (int nl, int nc)
{  nlig = nl ;
   ncol = nc ;
   adv = new int [nl*nc] ;
   int i ;
   for (i=0 ; i<nl*nc ; i++) adv[i] = 0 ;    // mise à zéro
}

      /*********** définition du destructeur **********/
int2d::~int2d ()
{  delete adv ;
}

      /********** définition de l'opérateur () *********/
int & int2d::operator () (int i, int j)
{  if ( (i<0) || (i>=nlig) ) i=0 ;  // protections sur premier indice
   if ( (j<0) || (j>=ncol) ) j=0 ;  // protections sur second indice
   return * (adv + i * ncol + j) ;
}
```

Voici un petit exemple d'utilisation de notre classe int2d :

```
#include <iostream.h>
#include "int2d.h"
main()
{   int2d t1 (4,3) ;
    int i, j ;
    for (i=0 ; i<4 ; i++)
       for (j=0 ; j<3 ; j++)
      t1(i, j) = i+j ;
    for (i=0 ; i<4 ; i++)
       { for (j=0 ; j<3 ; j++)
         cout << t1 (i, j) << " " ;
     cout << "\n" ;
       }
}
```

Remarques :

1) Dans la pratique, on sera amené à définir deux opérateurs () comme nous l'avions fait dans l'exercice précédent pour l'opérateur [], à savoir : un pour des objets non constants (celui défini ici), l'autre pour des objets constants (il sera prévu de manière à ne pas pouvoir modifier l'objet sur lequel il porte).

2) Généralement, par souci d'efficacité, les opérateurs tels que () seront définis "en ligne".

Exercice VII.9

Enoncé

Créer une classe nommée histo permettant de manipuler des "histogrammes". On rappelle que l'on obtient un histogramme à partir d'un ensemble de valeurs x(i), en définissant n tranches (intervalles) contiguës (souvent de même amplitude) et en comptabilisant le nombre de valeurs x(i) appartenant à chacune de ces tranches.

On prévoira :

- un constructeur de la forme histo (float min, float max, int ninter), dont les arguments précisent les bornes (min et max) des valeurs à prendre en compte et le nombre de tranches (ninter) supposées de même amplitude,

- un opérateur << défini de manière telle que h<< x ajoute la valeur x à l'histogramme h, c'est-à-dire qu'elle incrémente de 1 le compteur relatif à la tranche à laquelle appartient x. Les valeurs sortant des limites (min - max) ne seront pas comptabilisées,

- un opérateur [] défini de manière telle que h[i] représente le nombre de valeurs répertoriées dans la tranche de rang i (la première tranche portant le numéro 1 ; un numéro incorrect de tranche conduira à considérer celle de rang 1). On s'arrangera pour qu'une instruction de la forme h[i] = ... soit rejetée en compilation.

On ne cherchera pas ici à régler les problèmes posés par l'affectation ou la transmission par valeur d'objets du type histo.

Solution

Nous n'avons pas besoin de conserver les différentes valeurs x(i), mais seulement les compteurs relatifs à chaque tranche. En revanche, il faut prévoir d'allouer dynamiquement (dans le constructeur) l'emplacement nécessaire à ces compteurs, puisque le nombre de tranches n'est pas connu lors de la compilation de la classe histo. Il faudra naturellement prévoir de libérer cet emplacement dans le destructeur de la classe. Les membres donnée de histo seront donc : les valeurs extrêmes (minimale et maximale), le nombre de tranches et un pointeur sur l'emplacement contenant les compteurs.

L'opérateur << peut être surdéfini, soit comme fonction membre, soit comme fonction amie ; nous choisirons ici la première solution. En revanche, l'opérateur [] doit absolument être surdéfini comme fonction membre. Pour qu'il ne soit pas possible d'écrire des affectations de la forme h[i] = ..., on fera en sorte que cet opérateur fournisse son résultat par valeur.

Voici ce que pourrait être la déclaration de notre classe histo :

```
      /*** fichier histo.h : déclaration de la classe histo ***/
class histo
{   float min ;     // borne inférieure
    float max ;     // borne supérieure
    int nint ;      // nombre de tranches utiles
    float * adc ;   // pointeur sur les compteurs associés à chaque intervalle
```

```
                    // adc [i-1] = compteur valeurs de la tranche de rang i
    float ecart ;  // larg d'une tranche (pour éviter un recalcul systématique)
  public :
    histo (float=0.0, float=1.0, int=10) ; // constructeur
    ~histo () ;                      // destructeur
    histo & operator << (float) ;    // ajoute une valeur
    int operator [] (int) ;          // nombre de valeurs dans chaque tranche
} ;
```

Notez que nous avons prévu des valeurs par défaut pour les arguments du constructeur (celles-ci n'étaient pas imposées par l'énoncé).

En ce qui concerne la définition des différents membres, il faut noter qu'il est indispensable qu'une telle classe soit protégée contre toute utilisation incorrecte. Certes, cela passe par un contrôle de la valeur du numéro de tranche fourni à l'opérateur [], ou par le refus de prendre en compte une valeur hors limites (qui fournirait un numéro de tranche conduisant à un emplacement situé en dehors de celui alloué par le constructeur).

Mais, de surcroît, nous devons nous assurer que les valeurs des arguments fournis au constructeur ne risquent pas de mettre en cause le fonctionnement ultérieur des différentes fonctions membre. En particulier, il est bon de vérifier que le nombre de tranches n'est pas négatif (notamment une valeur nulle conduirait dans << à une division par zéro) et que les valeurs du minimum et du maximum sont convenablement ordonnées et différentes l'une de l'autre (dans ce dernier cas, on aboutirait encore à une division par zéro). Ici, nous avons prévu de régler ce problème en attribuant le cas échéant des valeurs par défaut arbitraires (max = min + 1, nint = 1).

Voici ce que pourrait être la définition des différentes fonctions membre de notre classe histo :

```
      /************** définition de la classe histo **********/
#include "histo.h"
#include <iostream.h>
      /********************* constructeur ********************/
histo::histo (float mini, float maxi, int ninter)
{                            // protection contre arguments erronés
    if (maxi < mini)
       { float temp = maxi ; maxi = mini ; mini = temp ; }
    if (maxi == mini) maxi = mini + 1.0 ;   // arbitraire
    if (ninter < 1) nint =1 ;
    min = mini ; max = maxi ; nint = ninter ;
    adc = new float [nint-1] ;              // alloc emplacements compteurs
    int i ;
    for (i=0 ; i<=nint-1 ; i++) adc[i] = 0 ; // et r.a.z.
    ecart = (max - min) / nint ;            // largeur d'une tranche
}

      /********************* destructeur *********************/
histo::~histo ()
{   delete adc ;
}

      /********************* opérateur << ********************/
histo & histo::operator << (float v)
{   int nt =  (v-min) / ecart ;
      // on ne comptabilise que les valeurs "convenables"
    if ( (nt>=0) && (nt<=nint-1) )  adc [nt] ++ ;
    return (*this) ;
}
```

```
      /******************** opérateur [] ********************/
int histo::operator [] (int n)
{   if ( (n<1) || (n>nint) ) n=1 ;     // protection "débordement"
    return adc[n-1] ;
}
```

Voici, à titre indicatif, un petit programme d'essai de la classe histo, accompagné du résultat fourni par son exécution :

```
#include "histo.h"
#include <iostream.h>
main()
{   const int nint = 4 ;
    int i ;
    histo h (0., 5., nint) ;     // 4 tranches entre 0 et 5
    h << 1.5 << 2.4 << 3.8 << 3.0 << 2.0 << 3.5 << 2.8 << 4.6 ;
    h << 12.0 << -3.5 ;
    for (i=0 ; i<10 ; i++) h << i/2.0 ;
    cout << "valeurs des tranches \n" ;
    for (i=1 ; i<=nint ; i++)
       cout << "numéro " << i << " : " << h[i] << "\n"  ;
}
```

```
valeurs des tranches
numéro 1 : 3
numéro 2 : 5
numéro 3 : 6
numéro 4 : 4
```

Exercice VII.10

Enoncé

Réaliser une classe nommée stack_int permettant de gérer une pile d'entiers. Ces derniers seront conservés dans un emplacement alloué dynamiquement ; sa dimension sera déterminée par l'argument fourni à son constructeur (on lui prévoira une valeur par défaut de 20). Cette classe devra comporter les opérateurs suivants (nous supposons que p est un objet de type stack_int et n un entier) :

- < < , tel que p< <n ajoute l'entier n à la pile p (si la pile est pleine, rien ne se passe),
- > > , tel que p> >n place dans n la valeur du haut de la pile, en la supprimant de la pile (si la pile est vide, la valeur de n ne sera pas modifiée),
- + + , tel que p++ vale 1 si la pile est pleine et 0 dans le cas contraire,
- --, tel que p-- vale 1 si la pile est vide et 0 dans le cas contraire.

On prévoira que les opérateurs < < et > > pourront être utilisés sous les formes suivantes (n1, n2 et n3 étant des entiers) :

p < < n1 < < n2 < < n3 ; p > > n1 > > n2 < < n3 ;

On fera en sorte qu'il soit possible de transmettre une pile par valeur. En revanche, l'affectation entre piles ne sera pas permise, et on s'arrangera pour que cette situation aboutisse à un arrêt de l'exécution.

Solution

La classe stack_int contiendra comme membres donnée : la taille de l'emplacement réservé pour la pile (nmax), le nombre d'éléments placés à un moment donné sur la pile (nelem) et un pointeur sur l'emplacement qui sera alloué par le constructeur pour y ranger les éléments de la pile (adv). Notez qu'il n'est pas nécessaire de prévoir une donnée supplémentaire pour un éventuel "pointeur" de pile, dans la mesure où c'est le nombre d'éléments nelem qui joue ce rôle ici.

Les opérateurs requis peuvent indifféremment être définis comme fonctions membre ou comme fonctions amies. Nous choisirons ici la première solution. Pour que les opérateurs << et >> puissent être utilisés à plusieurs reprises dans une même expression, il est nécessaire que, par exemple :

```
p << n1 << n2 << n3 ;
```

soit équivalent à :

```
( ( (p << n1) << n2 ) << n3 ) ;
```

Pour ce faire, les opérateurs << et >> doivent fournir comme résultat la pile reçue en premier opérande, après qu'elle a subit l'opération voulue (empilage ou dépilage). Il est préférable que ce résultat soit transmis par référence (on évitera la perte de temps due au constructeur par recopie).

En ce qui concerne la transmission par valeur d'un objet de type stack_int, nous ne pouvons pas nous contenter du constructeur par recopie par défaut puisque ce dernier ne recopierait pas la partie dynamique de l'objet, ce qui poserait les "problèmes habituels". Nous devons donc surdéfinir le constructeur par recopie ; ici, nous prévoirons une duplication complète de l'objet (une autre démarche, plus compliquée, consisterait à employer un "compteur de référence", ce qui permettrait de ne plus dupliquer la partie dynamique).

Pour satisfaire à la contrainte imposée par l'énoncé sur l'affectation, nous allons surdéfinir l'opérateur d'affectation. Comme ce dernier doit se contenter d'afficher un message d'erreur et d'interrompre l'exécution, il n'est pas nécessaire qu'il renvoie une quelconque valeur (d'où la déclaration void).

Voici ce que pourrait être la déclaration de notre classe :

```
#include <iostream.h>
#include <stdlib.h>
class stack_int
{   int nmax ;                  // nombre maximal de la valeurs de la pile
    int nelem ;                 // nombre courant de valeurs de la pile
    int * adv ;                 // pointeur sur les valeurs
  public :
    stack_int (int = 20) ;          // constructeur
    ~stack_int () ;                 // destructeur
    stack_int (stack_int &) ;       // constructeur par recopie
    void operator = (stack_int &) ; // affectation
    stack_int & operator << (int) ; // opérateur d'empilage
    stack_int & operator >> (int &) ; // opérateur de dépilage (attention int &)
    int operator ++ () ;            // opérateur de test pile pleine
    int operator -- () ;            // opérateur de test pile vide
```

```
} ;
```

Notez que l'opérateur >> doit absolument recevoir son deuxième opérande par référence, puisqu'il doit pouvoir en modifier la valeur.

Voici la définition des fonctions membre de stack_int :

```
#include "stack-int.h"
stack_int::stack_int (int n)
{   nmax = n ;
    adv = new int [nmax] ;
    nelem = 0 ;
}

stack_int::~stack_int ()
{   delete adv ;
}
stack_int::stack_int (stack_int & p)
{   nmax = p.nmax ; nelem = p.nelem ;
    adv = new int [nmax] ;
    int i ;
    for (i=0 ; i<nelem ; i++)
       adv[i] = p.adv[i] ;
}
void stack_int::operator = (stack_int & p)
{   cout << "*** Tentative d'affectation entre piles - arrêt exécution ***\n" ;
    exit (1) ;
}
stack_int & stack_int::operator << (int n)
{   if (nelem < nmax) adv[nelem++] = n ;
    return (*this) ;
}
stack_int & stack_int::operator >> (int & n)
{   if (nelem > 0) n = adv[--nelem] ;
    return (*this) ;
}
int stack_int::operator ++ ()
{   return  (nelem == nmax) ;
}
int stack_int::operator -- ()
{   return (nelem == 0) ;
}
```

A titre indicatif, voici un petit programme d'utilisation de notre classe, accompagné d'un exemple d'exécution :

```
      /************ programme d'essai de stack_int *********/
#include "stack_int.h"
#include <iostream.h>
main()
{   void fct (stack_int) ;
    stack_int pile (40) ;
    cout << "pleine : " << pile++ << " vide : " << pile-- << "\n" ;
    pile << 1 << 2 << 3 << 4 ;
    fct (pile) ;
```

```
    int n, p ;
    pile >> n >> p ;      // on dépile 2 valeurs
    cout << "haut de la pile au retour de fct : " << n << " " << p << "\n" ;
    stack_int pileb (25) ;
    pileb = pile ;        // tentative d'affectation
}

void fct (stack_int pl)
{   cout << "haut de la pile reçue par fct : " ;
    int  n, p ;
    pl >> n >> p ;  // on dépile 2 valeurs
    cout << n << " " << p << "\n" ;
    pl << 12 ;      // on en ajoute une
}
```

```
pleine : 0 vide : 1
haut de la pile reçue par fct : 4 3
haut de la pile au retour de fct : 4 3
*** Tentative d'affectation entre piles - arrêt exécution ***
```

Exercice VII.11

Enoncé

Adapter la classe point :

```
class point
{   int x, y ;
    // .......
  public :
    point (int abs=0, int ord=0)                    // constructeur
    // .....
} ;
```

de manière à ce qu'elle dispose de deux fonctions membre permettant de connaître, à tout instant, le nombre total d'objets de type point, ainsi que le nombre d'objets dynamiques (c'est-à-dire créés par new) de ce même type.

Solution

Ici, il n'est plus possible de se contenter de comptabiliser les appels au constructeur et au destructeur. Il faut, en outre, comptabiliser les appels à new et delete. La seule possibilité pour y parvenir consiste à surdéfinir ces deux opérateurs pour la classe point. Le nombre de points total et le nombre de points dynamiques seront conservés dans des membres statiques (n'existant qu'une seule fois pour l'ensemble des objets du type point). Quant aux fonctions membre fournissant les informations voulues, il est préférable d'en faire des fonctions membre statiques (déclarées, elles aussi, avec l'attribut static), ce qui permettra de les employer plus facilement que si on en avait fait des fonctions membre ordinaires (puisqu'on pourra les appeler sans avoir à les faire porter sur un objet particulier).

Voici ce que pourrait être notre classe point (déclaration et définition) :

```
#include <iostream.h>
#include <stddef.h>                // pour size_t
class point
{   static int npt ;               // nombre total de points
    static int nptd ;              // nombre de points "dynamiques"
    int x, y ;
  public :
    point (int abs=0, int ord=0)                          // constructeur
        { x=abs ; y=ord ;
          npt++ ;
        }
    ~point ()                                             // destructeur
        { npt-- ;
        }
    void * operator new (size_t sz)                       // new surdéfini
    { nptd++ ;
      return ::new char[sz] ;
    }
    void operator delete (void * dp)
     { nptd-- ;
       ::delete (dp) ;
     }
    static int npt_tot ()
     { return npt ;
     }
    static int npt_dyn ()
     { return nptd ;
     }
} ;
```

Notez que, dans la surdéfinition de new et delete, nous avons fait appel aux opérateurs prédéfinis (par emploi de ::) pour ce qui concerne la gestion de la mémoire.

Voici un exemple de programme utilisant notre classe point :

```
#include "point.h"
main()
{
   point * ad1, * ad2 ;
   point a(3,5) ;
   cout << point::npt_tot () << " " << point::npt_dyn () << "\n" ;
   ad1 = new point (1,3) ;
   point b ;
   cout << point::npt_tot () << " " << point::npt_dyn () << "\n" ;
   ad2 = new point (2,0) ;
   delete ad1 ;
   cout << point::npt_tot () << " " << point::npt_dyn () << "\n" ;
   point c(2) ;
   delete ad2 ;
   cout << point::npt_tot () << " " <<  point::npt_dyn () << "\n" ;
}
```

CHAPITRE VIII :
LES CONVERSIONS DE TYPE DEFINIES PAR L'UTILISATEUR

RAPPELS

C++ vous permet de définir des conversions d'un type classe vers un autre type classe ou un type de base. On parle de conversions définies par l'utilisateur (en abrégé : C.D.U.). Ces conversions peuvent alors être éventuellement mises en oeuvre, de façon "automatique" par le compilateur, afin de donner une signification à un appel de fonction ou à un opérateur (alors que, sans conversion, l'appel ou l'opérateur serait illégal). On retrouve ainsi des possibilités comparables à celles qui nous sont offertes par le C en matière de conversions implicites.

Deux sortes de fonctions (obligatoirement des fonctions membre) permettent de définir des C.D.U. :

- les constructeurs à un argument (quel que soit le type de cet argument) : un tel constructeur réalise une conversion du type de cet argument dans le type de sa classe,

- les opérateurs de "cast" : dans une classe A, on définira un opérateur de conversion d'un type x (quelconque, c'est-à-dire aussi bien un type de base qu'un autre type classe) en introduisant la fonction membre de prototype :

```
operator x () ;
```

notez que le type de la valeur de retour (obligatoirement défini par son nom) ne doit pas figurer dans l'en-tête ou le prototype d'une telle fonction.

Les règles d'utilisation des C.D.U. rejoignent celles concernant le choix d'une fonction surdéfinie :

- les C.D.U. ne sont mises en oeuvre que si cela est nécessaire,

- une seule C.D.U. peut intervenir dans une chaîne de conversions (d'un argument d'une fonction ou d'un opérande d'un opérateur),

- il ne doit pas y avoir d'ambiguïté, c'est-à-dire plusieurs chaînes de conversions conduisant au même type, pour un argument ou un opérande donné.

Exercice VIII.1

Enoncé

Soit la classe point suivante :

```
class point
{    int x, y ;
   public :
     point (int abs=0, int ord=0)
        { x = abs ; y = ord ;
        }
     // .....
} ;
```

a) La munir d'un opérateur de "cast" permettant de convertir un point en un entier (corrrespondant à son abscisse).

b) Soient alors ces déclarations :

```
point p ;
int n ;
void fct (int) ;
```

Que font ces instructions :

```
n = p ;        //  instruction 1
fct (p) ;      //  instruction 2
```

Solution

a) Il suffit de définir une fonction membre, de nom operator int, sans argument et renvoyant la valeur de l'abscisse du point l'ayant appelé. Rappelons que le type de la valeur de retour (que C++ déduit du nom de la fonction - ici int) ne doit pas figurer dans l'en-tête ou le prototype. Voici ce que pourraient être la déclaration et la définition de cette fonction, ici réunies en une seule déclaration d'une fonction "en ligne" :

```
operator int ()
{  return x ;
}
```

b)

L'instruction 1 est traduite par le compilateur en une conversion de p en int (par appel de operator int), suivie d'une affectation du résultat à n. Notez bien qu'il n'y a pas d'appel d'un quelconque opérateur d'affection de la classe point, ni d'un constructeur par recopie (car le seul argument transmis à la fonction operator int est l'argument implicite this).

L'instruction 2 est traduite par le compilateur en une conversion de p en int (par appel de operator int), suivie d'un appel de la fonction fct, à laquelle on transmet le résultat de cette conversion. Notez qu'il n'y pas, là non plus, d'appel d'un constructeur par recopie, ni pour fct (puisqu'elle reçoit un argument d'un type de base), ni pour operator int (pour la même raison que précédemment).

Exercice VIII.2

Enoncé

Quels résultats fournira le programme suivant :

```
#include <iostream.h>
class point
{  int x, y ;
 public :
   point (int abs, int ord)              // constructeur 2 arguments
     { x = abs ; y = ord ;
     }
   operator int()                        // "cast" point --> int
     { cout << "*** appel int() pour le point " << x << " " << y << "\n" ;
       return x ;
     }
} ;
main()
{
   point a(1,5), b(2,8) ;
   int n1, n2, n3 ;
   n1 = a + 3 ;                          // instruction 1
   cout << "n1 = " << n1 << "\n" ;
   n2 = a + b ;                          // instruction 2
   cout << "n2 = " << n2 << "\n" ;

   double z1, z2 ;
   z1 = a + 3 ;                          // instruction 3
   cout << "z1 = " << z1 << "\n" ;
   z2 = a + b ;                          // instruction 4
   cout << "z2 = " << z2 << "\n" ;
}
```

Solution

Lorsque le compilateur rencontre, dans l'instruction 1, l'expression a+3, il cherche tout d'abord s'il existe un opérateur surdéfini correspondant aux types point et int (dans cet ordre). Ici, il n'en trouve pas. Il va alors chercher à mettre en place des conversions permettant d'aboutir à une opération existante ; ici, l'opérateur de cast (operator int) lui permet de se ramener à une addition d'entiers (par conversion de p en int), et c'est la seule possibilité. Le résultat est alors, bien sûr, de type int et il est affecté à n1 sans conversion.

Le même raisonnement s'applique à l'instruction 2 ; l'évaluation de a+b se fait alors par conversion de a et de b en int (seule possibilité de donner une signification à l'opérateur +). Le résultat est de type int et il est affecté sans conversion à n2.

Les expressions figurant à droite des affectations des instructions 3 et 4 sont évaluées exactement suivant les mêmes règles que les expressions des instructions 1 et 2. Ce n'est qu'au moment de l'affectation du résultat (de type int) à la variable mentionée que l'on opère une conversion int --> double (analogue à celles qui sont mises en place en langage C).

A titre indicatif, voici ce que fournit précisément l'exécution du programme :

```
*** appel int() pour le point 1 5
n1 = 4
```

```
*** appel int() pour le point 1 5
*** appel int() pour le point 2 8
n2 = 3
*** appel int() pour le point 1 5
z1 = 4
*** appel int() pour le point 1 5
*** appel int() pour le point 2 8
z2 = 3
```

Exercice VIII.3

Enoncé

Quels résultats fournira le programme suivant :

```
#include <iostream.h>
class point
{  int x, y ;
 public :
   point (int abs, int ord)              // constructeur 2 arguments
     { x = abs ; y = ord ;
     }
   operator int()                        // "cast" point --> int
     { cout << "** appel int() pour le point " << x << " " << y << "\n" ;
       return x ;
     }
} ;
void fct (double v)
{  cout << "$$ appel fct avec argument : " << v << "\n" ;
}
main()
{
   point a(1,4) ;
   int n1 ;
   double z1, z2 ;
   n1 = a + 1.75 ;                   // instruction 1
   cout << "n1 = " << n1 << "\n" ;
   z1 = a + 1.75 ;                   // instruction 2
   cout << "z1 = " << z1 << "\n" ;
   z2 = a ;                          // instruction 3
   cout << "z2 = " << z2 << "\n" ;
   fct (a) ;                         // instruction 4
}
```

Solution

Pour évaluer l'expression a + 1.75 de l'instruction 1, le compilateur met en place une chaîne de conversions de a en double (point --> int suivie de int --> double) de manière à aboutir à l'addition de deux valeurs de type double ; le résultat, de type double, est ensuite converti pour être affecté à n1 (conversion forcée par l'affectation, comme d'habitude en C).

Notez bien qu'il n'est pas question pour le compilateur de prévoir la conversion en int de la valeur 1.75 (de façon à se ramener à l'addition de deux int, après conversion de a en int) car il s'agit là d'une "conversion dégradante" qui n'est jamais mise en oeuvre de manière implicite dans un calcul d'expression. Il n'y a donc pas d'autre choix possible (notez que s'il y en avait effectivement un autre, il ne s'agirait pas pour autant d'une situation d'ambiguïté dans la mesure où le compilateur appliquerait alors les règles habituelles de choix d'une fonction surdéfinie).

L'instruction 2 correspond à un raisonnement similaire avec cette seule différence que le résultat de l'addition (de type double) peut être affecté à z1 sans conversion.

Enfin les instructions 3 et 4 entraînent une conversion de point en double, par une suite de conversions point --> int et int --> double.

Voici le résultat de l'exécution du programme :

```
** appel int() pour le point 1 4
n1 = 2
** appel int() pour le point 1 4
z1 = 2.75
** appel int() pour le point 1 4
z2 = 1
** appel int() pour le point 1 4
$$ appel fct avec argument : 1
```

Exercice VIII.4

Enoncé

Que se passerait-il si, dans la classe point du précédent exercice, nous avions introduit, en plus de l'opérateur operator int, un autre opérateur de cast operator double.

Solution

Dans ce cas, les instructions 1 et 2 auraient conduit à une situation d'ambiguïté. En effet, le compilateur aurait disposé de deux chaînes de conversions permettant de convertir un point en double : soit point --> double soit point --> int suivie de int -> double. En revanche, les instructions 3 et 4 auraient toujours été acceptées.

Exercice VIII.5

Enoncé

Considérer la classe suivante :

```
class complexe
{  double x, y ;
```

```
  public :
   complexe (double r=0, double i=0) ;
   complexe (complexe &) ;
} ;
```

Dans un programme contenant les déclarations :

```
complexe z (1,3) ;
void fct (complexe) ;
```

que produiront les instructions suivantes :

```
z = 3.75 ;          // instruction 1
fct (2.8) ;         // instruction 2
z = 2 ;             // instruction 3
fct (4) ;           // instruction 4
```

Solution

L'instruction 1 conduit une conversion de la valeur double 3.75 en un complexe par appel du constructeur à un argument (compte tenu des arguments par défaut), suivie d'une affectation à z.

L'instruction 2 conduit à une conversion de la valeur double 2.8 en un complexe (comme précédemment par appel du constructeur à un argument) ; il y aura ensuite création d'une copie, par appel du constructeur par recopie de la classe complexe, copie qui sera transmise à la fonction fct.

Les instructions 3 et 4 jouent le même rôle que les deux précédentes, avec cette seule différence qu'elles font intervenir des conversions int --> complexe obtenues par une conversion int --> double suivie d'une conversion double --> complexe.

Exercice VIII.6

Enoncé

Quels résultats fournira le programme suivant :

```
#include <iostream.h>
class point
{  int x, y ;
 public :
   point (int abs=0, int ord=0)         // constructeur 0, 1 ou 2 arguments
     { x = abs ; y = ord ;
       cout << "$$ construction point : " << x << " " << y << "\n" ;
     }
   friend point operator + (point, point) ;      // point + point --> point
   void affiche ()
     { cout << "Coordonnées : " << x << " " << y << "\n" ;
     }
} ;
point operator+ (point a, point b)
```

```
{  point r ;
   r.x = a.x + b.x ; r.y = a.y + b.y ;
   return r ;
}
main()
{
   point a, b(2,4) ;
   a = b + 6 ;          // affectation 1
   a.affiche() ;
   a = 6 + b ;          // affectation 2
   b.affiche() ;
}
```

Que se passerait-il si l'opérateur + avait été surdéfini comme une fonction membre et non plus comme une fonction amie ?

Solution

L'évaluation de l'expression b+6 de la première affectation se fait en utilisant l'opérateur + surdéfini pour la classe point, après avoir converti l'entier 6 en un point (par appel du constructeur à un argument). Le résultat, de type point, est alors affecté à a.

L'instruction d'affectation 2 se déroule de façon similaire (conversion de l'entier 6 en un point).

En revanche, si l'opérateur + avait été surdéfini par une fonction membre, la seconde instruction d'affectation aurait été rejetée à la compilation ; en effet, elle aurait été interprétée comme :

```
6.operator + (b)
```

On voit ici que seule la fonction amie permet de traiter de façon identique les deux opérandes d'un opérateur binaire, notamment en ce qui concerne les possibilités de conversions implicites.

Exercice VIII.7

Enoncé

Soient les deux classes suivantes :

```
class A
{    // ...
   friend operator + (A, A) ;
 public :
   A (int) ;      // constructeur à un argument entier
   A (B) ;        // constructeur à un argument de type B
     // ...
} ;

class B
{    // ...
 public :
   B (int) ;      // constructeur à un argument entier
```

```
        // ...
};
```

a) Dans un programme contenant les déclarations :

```
A a1, a2, a3 ;
B b1, b2, b3 ;
```

les instructions suivantes seront-elles correctes et, si oui, que feront-elles ?

```
a1 = b1 ;          // instruction 1
b1 = a1 ;          // instruction 2
a3 = a1 + a2 ;     // instruction 3
a3 = b1 + b2 ;     // instruction 4
b3 = a1 + a2 ;     // instruction 5
```

b) Comment obtenir le même résultat, sans définir, dans A, le constructeur A(B)?

Solution

a)

Instruction 1 :

Il faut distinguer 2 cas :

Si A n'a pas surdéfini d'opérateur d'affectation de la forme A & operator = (B), il y aura conversion de b1 dans le type de A (par appel du constructeur A(B)), suivie d'une affectation à a1 (en utilisant soit l'opérateur d'affectation par défaut de A, soit éventuellement celui qui aurait pu y être surdéfini).

En revanche, si A a surdéfini un opérateur d'affectation de la forme A & operator = (B) (permettant d'affecter un objet de type B à un objet de type A), ce dernier sera utilisé pour réaliser l'instruction 1, et, dans ce cas, il n'y aura donc pas d'appel de constructeur de A, ni d'éventuel autre opérateur d'affectation. Ce comportement s'explique par le fait que les C.D.U. ne sont mises en oeuvre que lorsque cela est nécessaire.

Instruction 2 :

Là encore, il faut distinguer les deux cas précédents. Si B n'a pas surdéfini d'opérateur d'affectation de la forme A &operator = (B), l'instruction 2 conduira à une erreur de compilation puisqu'il n'existera aucune possibilité de convertir un objet de type A en un objet de type B. En revanche, si l'opérateur d'affectation en question existe, il sera tout simplement utilisé.

Instruction 3 :

Elle ne pose aucun problème particulier.

Instruction 4 :

Ici, b1 et b2 seront convertis dans le type A en utilisant le constructeur A(B) avant d'être transmis à l'opérateur + (de A). Le résultat, de type A, sera affecté à a3, en utilisant l'opérateur d'affectation de A - soit celui par défaut, soit celui éventuellement surdéfini.

Instruction 5 :

L'expression a1 + a2 ne pose pas de problème puisqu'elle est évaluée à l'aide de l'opérateur + de la classe A ; elle fournit un résultat de type A. En revanche, pour l'affectation du résultat à b3, il faut à nouveau distinguer les 2 cas déjà évoqués. Si B a surdéfini un opérateur d'affectation de la forme A & operator = (B), il sera utilisé ; si un tel opérateur n'a pas été surdéfini, l'instruction sera rejetée par le compilateur (puisqu'il n'existera alors aucune possibilité de conversion de B en A).

b) En introduisant, dans la classe B, un opérateur de "cast" permettant la conversion de B en A, de la forme :

```
operator B ()
```

CHAPITRE IX :
LA TECHNIQUE DE L'HERITAGE

RAPPELS

Le concept d'héritage constitue l'un des fondements de la Programmation Orientée Objet. Il permet de définir une nouvelle classe B dite "dérivée", à partir d'une classe existante A, dite "de base" ; pour ce faire, on procède ainsi :

```
class B : public A    // ou :   private A     ou (depuis la version 3)  protected A
{    //  définition des membres supplémentaires (données ou fonctions)
     //  ou redéfinition de membres existants dans A (données ou fonctions)
} ;
```

Avec public A, on parle de "dérivation publique" ; avec private A, on parle de "dérivation privée" ; avec protected A, on parle de "dérivation protégée".

Modalités d'accès à la classe de base

Les membres privés d'une classe de base ne sont jamais accessibles aux fonctions membre de sa classe dérivée.

Outre les "statuts" public ou privé (présentés dans le chapitre III), il existe un statut "protégé". Un membre protégé se comporte comme un membre privé pour un utilisateur quelconque de la classe ou de la classe dérivée, mais comme un membre public pour la classe dérivée.

D'autre part, il existe trois sortes de dérivation :

- **publique** : les membres de la classe de base conservent leur statut dans la classe dérivée ; c'est la situation la plus usuelle,
- **privée** : tous les membres de la classe de base deviennent privés dans la classe dérivée ,
- **protégée** (depuis la version 3) : les membres publics de la classe de base deviennent membres protégés de la classe dérivée ; les autres membres conservent leur statut.

Lorsqu'un membre (donnée ou fonction) est redéfini dans une classe dérivée, il reste toujours possible (soit dans les fonctions membre de cette classe, soit pour un client de cette classe) d'accéder aux membres de même nom de la classe de base, moyennant l'utilisation de l'opérateur de résolution de portée (::), sous réserve, bien sûr, qu'un tel accès soit autorisé.

Appel des constructeurs et des destructeurs

Soit B une classe dérivée d'une classe de base A. Naturellement, dès lors que B possède au moins un constructeur, la création d'un objet de type B implique obligatoirement l'appel d'un constructeur de B. Mais, de plus, ce constructeur de B doit prévoir des arguments à destination d'un constructeur de A (une exception a lieu, soit si A n'a pas de constructeur, soit si A possède un constructeur sans argument). Ces arguments sont précisés, dans la définition du constructeur de B, comme dans cet exemple :

```
B (int x, int y, char coul) : A (x, y) ;
```

Les arguments mentionnés pour A peuvent éventuellement l'être sous forme d'expressions.

Cas particulier du constructeur par recopie

En plus des règles ci-dessus, il faut ajouter que si la classe dérivée B ne possède pas de constructeur par recopie, il y aura appel du constructeur par recopie par défaut de B, lequel procédera ainsi :

- appel du constructeur par recopie de A (soit celui qui y a été défini, soit le constructeur par recopie par défaut),
- initialisation des membres donnée de B qui ne sont pas hérités de A.

En revanche, un problème se pose lorsque la classe dérivée définit explicitement un constructeur par recopie. En effet, dans ce cas, il faut tenir compte de ce que l'appel de ce constructeur par recopie entraînera l'appel :

- du constructeur de la classe de base mentionné dans son en-tête, comme dans cet exemple (il s'agit ici d'un constructeur par recopie de la classe de base, mais il pourrait s'agir de n'importe quel autre constructeur) :

```
B (B & b) : A(b) ; // appel du constructeur par recopie de A
                   // auquel sera transmise la partie de B héritée de A
                   // (possible uniquement grâce aux règles de compatibilité
                   //    entre classe de base et classe dérivée)
```

- d'un constructeur sans argument, si aucun constructeur de la classe de base n'est mentionné dans l'en-tête ; dans ce cas, il est nécessaire que la classe de base dispose d'un tel constructeur sans argument, faute de quoi, on obtiendra une erreur de compilation.

Conséquences de l'héritage

Considérons la situation suivante, dans laquelle la classe A possède une fonction membre f (dont nous ne précisons pas les arguments) fournissant un résultat de type t (quelconque : type de base ou type défini par l'utilisateur, éventuellement type classe) :

```
class A                          class B : public A
{   .....                        {   .....
  public :                       } ;
    t f (...) ;
    .....
} ;

A a ;       // a est du type A
B b ;       // b est du type B, dérivé de A
```

Naturellement, un appel tel que a.f(...) a un sens et il fournit un résultat de type t. Le fait que B hérite publiquement de A permet alors de donner un sens à un appel tel que :

```
b.f (...)
```

La fonction f agira sur b, comme s'il était de type A. **Le résultat fourni par f sera cependant toujours de type t**, même, notamment, lorsque le type t est précisément le type A (le résultat de f pourra toutefois être soumis à d'éventuelles conversions dans le cas où il est affecté à une lvalue).

Cas particulier de l'opérateur d'affectation

Considérons une classe B dérivant d'une classe A.

Si la classe dérivée B n'a pas surdéfini l'opérateur d'affectation, l'affectation de deux objets de type B se déroule membre à membre, en considérant que la "partie héritée de A" constitue un membre. Ainsi, les membres propres à B sont traités par l'affectation prévue pour leur type (par défaut ou surdéfinie, suivant le cas). La partie héritée de A est traitée par l'affectation prévue dans la classe A.

Si la classe dérivée B a surdéfini l'opérateur =, l'affectation de deux objets de type B fera nécessairement appel à l'opérateur = défini dans B. Celui de A ne sera pas appelé, même s'il a été surdéfini. Il **faudra donc que l'opérateur = de B prenne en charge tout ce qui concerne l'affectation d'objets de type B**, y compris pour ce qui est des membres hérités de A.

Compatibilité entre objets d'une classe de base et objets d'une classe dérivée

Considérons :

```
class A                          class B : public A
{   .....                        {   .....
};                               } ;

A a ;       // a est du type A
B b ;       // b est du type B, dérivé de A
A * ada ;   // ada est un pointeur sur des objets de type A
B * adb ;   // adb est un pointeur sur des objets de type B
```

Il existe deux conversions implicites :

- d'un objet d'un type dérivé dans un objet d'un type de base. Ainsi l'affectation a=b est légale : elle revient à convertir b dans le type A (c'est-à-dire, en fait, à ne considérer de b que ce qui est du type A) et à affecter ce résultat à a (avec appel, soit de l'opérateur d'affectation de A si celui-ci a été surdéfini, soit de l'opérateur d'affectation par défaut de A). L'affectation inverse b=a est, quant à elle, illégale.

- d'un pointeur sur une classe dérivée en un pointeur sur une classe de base. Ainsi l'affectation ada=adb est légale, tandis que adb=ada est illégale (elle peut cependant être forcée par emploi de l'opérateur de "cast" : adb = (B*) ada).

Exercice IX.1

Enoncé

On dispose d'un fichier nommé point.h contenant la déclaration suivante de la classe point :

```
class point
{   float x, y ;
  public :
    void initialise (float abs=0.0, float ord=0.0)
       { x = abs ; y = ord ;
       }
    void affiche ()
       { cout << "Point de coordonnées : " << x << " " << y << "\n" ;
       }
    float abs ()  { return x ; }
    float ord ()  { return y ; }
} ;
```

a) Créer une classe pointa, dérivée de point comportant simplement une nouvelle fonction membre nommée rho, fournissant la valeur du rayon vecteur (première coordonnée polaire) d'un point.

b) Même question, en supposant que les membres x et y ont été déclarés protégés (protected) dans point, et non plus privés.

c) Introduire un constructeur dans la classe pointb.

d) Quelles sont les fonctions membre utilisables pour un objet de type pointb ?

Solution

a) Il suffit de prévoir, dans la déclaration de point, une nouvelle fonction membre de prototype :

```
float rho () ;
```

Toutefois, comme les membres x et y sont privés, ils restent privés pour les fonctions membre de sa classe dérivée pointb ; ce qui signifie qu'au sein de la définition de rho, il faut faire appel aux "fonctions d'accès" de point que sont abs et ord. Voici ce que pourrait être notre classe pointb (ici, nous avons fourni rho sous forme d'une fonction "en ligne") :

```
#include "point.h"          // pour la déclaration de la classe point
#include <math.h>
class pointb : public point
{ public :
    float rho ()
       { return  sqrt (abs () * abs () + ord () * ord () ) ;
       }
} ;
```

Notez que, telle qu'elle a été définie, la classe point n'a pas donné naissance à un fichier objet (puisque toutes ses fonctions membre sont "en ligne"). Il en va de même ici pour pointb. Aussi, pour utiliser pointb au sein d'un programme, il suffira d'inclure les fichiers contenant les définitions de point et de pointb. Naturellement, dans la pratique, il en ira rarement ainsi ; en général; on devra fournir non seulement les déclarations de la classe de base et de sa classe dérivée, mais également les fichiers objet correspondant à leurs compilations respectives.

b) La définition précédente reste valable mais, néanmoins, comme les membres x et y de point ont été déclarés protégés, ils sont accessibles aux fonctions membre de sa classe dérivée ; aussi est-il possible, dans la définition de rho, de les utiliser "directement". Voici ce que pourrait devenir notre fonction rho (toujours ici "en ligne") :

```
float rho ()                          // il faut que x et y soient
   { return  sqrt (x * x + y * y) ;   // déclarés "protected" dans point
   }
```

Notez qu'ici il n'est pas possible au constructeur de pointb d'appeler un quelconque constructeur de point puisque ce dernier type ne possède pas de constructeur.

c) Voici ce que pourrait être un constructeur à deux arguments (avec valeurs par défaut) :

```
pointb (float c1=0.0, float c2=0.0)
   { initialise (c1, c2) ;
   }
```

Là encore, si les membres x et y de point ont été déclarés "protégés", il est possible d'écrire ainsi notre constructeur :

```
pointb (float c1=0.0, float c2=0.0)
   { x = c1 ; y = c2 ;                // il faut que x et y soient
   }                                  // déclarés "protected" dans point
```

d) Un objet de type point peut utiliser n'importe laquelle des fonctions membre publiques de point, c'est-à-dire initialise, affiche, abs et ord, ainsi que n'importe laquelle des fonctions membre publiques de pointb, c'est-à-dire rho ou le constructeur pointb. Notez d'ailleurs qu'ici le constructeur et initialise font double emploi : cela provient d'une part de ce que point ne dispose pas de véritable constructeur, d'autre part de ce que pointb n'a pas défini de membres donnée supplémentaires, de sorte qu'il n'y a rien de plus à faire pour initialiser un objet de type pointb que pour initialiser un objet de type point.

Exercice IX.2

Enoncé

On dispose d'un fichier point.h contenant la déclaration suivante de la classe point :

```
#include <iostream.h>
class point
{   float x, y ;
  public :
    point (float abs=0.0, float ord=0.0)
       { x = abs ; y = ord ;
       }
    void affiche ()
       { cout << "Coordonnées : " << x << " " << y << "\n" ;
       }

    void deplace (float dx, float dy)
       { x =  x + dx ;  y = y + dy ;
       }
} ;
```

a) Créer une classe pointcol, dérivée de point, comportant :

- un membre donnée supplémentaire cl, de type int, destiné à contenir la "couleur" d'un point

- les fonctions membre suivantes :

  * affiche (redéfinie), qui affiche les coordonnées et la couleur d'un objet de type pointcol,

  * colore (int couleur), qui permet de définir la couleur d'un objet de type pointcol,

  * un constructeur permettant de définir la couleur et les coordonnées (on ne le définira pas "en ligne".

b) Que fera alors précisément cette instruction :

```
pointcol (2.5, 3.25, 5) ;
```

Solution

a) La fonction colore ne pose aucun problème particulier puisqu'elle agit uniquement sur un membre donnée propre à pointcool. En ce qui concerne affiche, il est nécessaire qu'elle puisse afficher les valeurs des membres x et y, hérités de point. Comme ces membres sont privés (et non protégés), il n'est pas possible que la nouvelle méthode affiche de pointcol y accède directement. Elle doit donc obligatoirement faire appel à la méthode affiche du type point ; il suffit, pour cela, d'utiliser l'opérateur de résolution de portée. Enfin, le constructeur de pointcol doit retransmettre au constructeur de point les coordonnées qu'il aura reçues par ses deux premiers arguments.

Voici ce que pourrait être notre classe pointcol (ici, toutes les fonctions membre, sauf le constructeur, sont "en ligne") :

```
          /****** fichier pointcol.h :déclaration de pointcol ******/
#include "point.h"
class pointcol : public point
{   int cl ;
  public :
    pointcol (float = 0.0, float = 0.0, int = 0) ;
    void colore (int coul)
      { cl = coul ;
      }
    void affiche ()                        // affiche doit appeler affiche de
      { point::affiche () ;                //   point pour les coordonnées
        cout << "  couleur : " << cl ;     //   mais elle a accès à la couleur
      }
} ;

          /****** définition du constructeur de pointcol *****/
#include "point.h"
#include "pointcol.h"
pointcol::pointcol (float abs, float ord, int coul) : point (abs, ord)
{  cl = coul ;       // on pourrait aussi écrire colore (coul) ;
}
```

Notez bien que l'on précise le constructeur de point devant être appelé par celui de pointcol, au niveau du constructeur de pointcol, et non de sa déclaration.

b) La déclaration pointcol (2.5, 3.25, 5) entraîne la création d'un emplacement pour un objet de type pointcol, lequel est initialisé par appel, successivement :

- du constructeur de point, qui reçoit en argument les valeurs 2.5 et 3.25 (comme prévu dans l'en-tête du constructeur de pointcol),

- du constructeur de pointcol.

Exercice IX.3

Enoncé

On suppose qu'on dispose de la même classe point (et donc du fichier point.h) que dans l'exercice précédent. Créer une classe pointcol possédant les mêmes caractéristiques que ci-dessus, mais sans faire appel à l'héritage. Quelles différences apparaîtront entre cette classe pointcol et celle de l'exercice précédent, au niveau des possibilités d'utilisation ?

Solution

La seule démarche possible consiste à créer une classe pointcol dans laquelle un des membres donnée est lui-même de type point. Sa déclaration et sa définition se présenteraient alors ainsi :

```
         /***** fichier pointcol.h : déclaration de pointcol *****/
#include "point.h"
class pointcol
{   point p ;
    int cl ;
  public :
    pointcol (float = 0.0, float = 0.0, int = 0) ;
    void colore (int coul)
      { cl = coul ;
      }
    void affiche ()
      {  p.affiche () ;                    // affiche doit appeler affiche
         cout  << "  couleur : " << cl ;   // du point p pour les coordonnées
      }
} ;

         /****** définition du constructeur de pointcol *****/
#include "point.h"
#include "pointcol.h"
pointcol::pointcol (float abs, float ord, int coul) : p (abs, ord)
{  cl = coul ;
}
```

Apparemment, il existe une analogie étroite entre cette classe pointcol et celle de l'exercice précédent. Néanmoins, l'utilisateur de cette nouvelle classe ne peut plus faire directement appel aux fonctions membre héritées de point. Ainsi, pour appliquer la méthode deplace à un objet a de type point, il devrait absolument écrire : a.p.deplace (...) ; or, cela n'est pas autorisé ici, compte tenu de ce que p est un membre privé de pointcol.

Exercice IX.4

Enoncé

Soit une classe point définie ainsi (nous ne fournissons pas la définition de son constructeur) :

```
class point
{   int x, y ;
  public :
    point (int = 0, int = 0) ;
    friend int operator == (point &, point &) ;
} ;

int operator == (point & a, point & b)
{   return  a.x == b.x && a.y == b.y ;
}
```

Soit la classe pointcol, dérivée de point :

```
class pointcol : public point
{   int cl ;
  public :
    pointcol (int = 0, int = 0, int = 0) ;
    //   éventuelles fonctions membre
}  ;
```

Si a et b sont de type pointcol et p de type point, les instructions suivantes sont-elles correctes et, si oui, que font-elles ?

```
if (a == b) ...      // instruction 1
if (a == p) ...      // instruction 2
if (p == a) ...      // instruction 3
if (a == 5) ...      // instruction 4
if (5 == a) ...      // instruction 5
```

b) Même question, en supposant, cette fois, que l'opérateur + a été défini au sein de point, sous forme d'une fonction membre.

Solution

a) Les 5 instructions proposées sont correctes. D'une manière générale, x == y est interprétée comme operator == (x, y). Si x et y sont de type point, aucun problème ne se pose bien sûr. Si l'un des opérandes (ou les deux) est de type pointcol, il sera (ils seront) converti implicitement dans le type point. Si l'un des opérandes est de type int, il sera converti implicitement dans le type point (par utilisation du constructeur à un argument de point).

En ce qui concerne la signification de la comparaison, on voit qu'elle revient à ne considérer d'un objet de type pointcol, que les coordonnées. Pour un entier, elle revient à le considérer comme un point ayant cet entier pour abscisse et une ordonnée nulle.

b) Cette fois, x == y est interprétée comme x.operator == (y). Si x est de type point et y d'un type pouvant se ramener au type point (c'est-à-dire soit du type pointcol qui sera converti implicitement en un type de base point, soit d'un type entier qui sera converti implicitement en un type point par l'intermédiaire du constructeur), aucun problème ne se pose (c'est le cas de la troisième instruction).

Si x est de type pointcol et y d'un type pouvant se ramener au type point, on est ramené au cas précédent, dans la mesure où la fonction membre operator ==, héritée de point peut toujours s'appliquer à un objet de type point (c'est le cas des instructions 1, 2 et 4).

En revanche, si x est de type int, il n'est plus possible de lui appliquer une fonction membre. C'est ce qui se passe dans la dernière instruction qui sera donc rejetée à la compilation.

Exercice IX.5

Enoncé

Soit une classe vect permettant de manipuler des "vecteurs dynamiques" d'entiers (c'est-à-dire dont la dimension peut être fixée au moment de l'exécution) dont la déclaration (fournie dans le fichier vect.h) se présente ainsi :

```
class vect
{  int nelem ;         // nombre d'éléments
   int * adr ;         // adresse zone dynamique contenant les éléments
 public :
   vect (int) ;               // constructeur (précise la taille du vecteur)
   ~vect () ;                 // destructeur
   int & operator [] (int) ;  // accès à un élément par son "indice"
} ;
```

On supppose que le constructeur alloue effectivement l'emplacement nécessaire pour le nombre d'entiers reçu en argument et que l'opérateur [] peut être utilisé indifféremment dans une expression ou à gauche d'une affectation.

Créer une classe vectb, dérivée de vect, permettant de manipuler des vecteurs dynamiques, dans lesquels on peut fixer les "bornes" des indices, lesquelles seront fournies au constructeur de vectb. La classe vect apparaîtra ainsi comme un cas particulier de vectb (un objet de type vect étant un objet de type vectb dans lequel la limite inférieure de l'indice est 0).

On ne se préoccupera pas, ici, des problèmes éventuellement posés par la recopie ou l'affectation d'objets de type vectb.

Solution

Nous prévoirons, dans vectb, deux membres donnée supplémentaires (debut et fin) pour conserver les bornes de l'indice (en toute rigueur, on pourrait se contenter d'un membre supplémentaire contenant la limite inférieure, sachant que la valeur supérieure pourrait s'en déduire à partir de la connaissance de la taille du vecteur ; toutefois, cette dernière information n'étant pas publique, nous rencontrerions des problèmes d'accès!).

Manifestement, vectb nécessite un constructeur à deux arguments entiers correspondant aux bornes de l'indice ; son en-tête pourrait commencer ainsi :

```
vectb (int d, int f)
```

Comme l'appel de ce constructeur entraînera automatiquement celui du constructeur de vect, il n'est pas question de faire l'allocation dynamique de notre vecteur dans vectb. Au contraire, nous réutilisons le travail effectué par vect, auquel nous trnsmettrons simplement le nombre d'éléments souhaités, c'est-à-dire ici f-d+1. Voici l'en-tête complet du constructeur de vectb :

```
vectb (int d, int f) : vect (f-d+1)
```

La tâche spécifique de vectb se limitera à renseigner les valeurs des membres donnée debut et fin.

Aucun destructeur n'est nécessaire pour vectb, dans la mesure où son constructeur n'alloue aucun autre emplacement dynamique que celui alloué par vect.

En ce qui concerne l'opérateur [], on peut penser que vectb l'hérite de vect et que, par conséquent, il n'est pas nécessaire de le surdéfinir. Toutefois, la notation t[i] ne désigne plus forcément l'élément de rang i d'un objet de type vectb. Or, manifestement, on souhaitera qu'il en aille toujours ainsi. Il faut donc redéfinir [] pour vectb, quitte d'ailleurs à réutiliser l'opérateur défini dans vect.

Voici ce que pourrait être notre classe vectb (ici, on ne trouve qu'une définition, dans la mesure où les deux fonctions membre ont été définies "en ligne") :

```
#include "vect.h"
class vectb : public vect
{   int debut, fin ;
  public :
    vectb ( int d, int f) : vect (f-d+1)
      { debut = d ; fin = f ;
      }
    int & operator [] (int i)
      { return vect::operator [] (i-debut) ;
      }
}
```

Remarques :

1) Si le membre donnée adr avait été déclaré protégé (protected) dans la classe vect, nous aurions pu redéfinir l'opérateur [] de vectb, sans faire appel à celui de vect :

```
    int & operator [] (int i)
      { return adr[i-debut] ;
      }
```

2) Aucune protection d'indices n'est à prévoir dans vectb, dès lors qu'elle a déjà été prévue dans vect.

Exercice IX.6

Enoncé

Soit une classe int2d (telle que celle créée dans l'exercice VII.8) permettant de manipuler des "tableaux dynamiques" d'entiers à deux dimensions dont la déclaration (fournie dans le fichier int2d.h) se présente ainsi :

```
      /****** fichier int2d.h :déclaration de la classe int2d ******/
class int2d
```

```
{  int nlig ;         // nombre de "lignes"
   int ncol ;         // nombre de "colonnes"
   int * adv ;        // adresse emplacement dynamique contenant les valeurs
  public :
   int2d (int nl, int nc) ;        // constructeur
   ~int2d () ;                     // destructeur
   int & operator () (int, int) ;  // accès à un élément, par ses 2 "indices"
} ;
```

On suppose que le constructeur alloue effectivement l'emplacement nécessaire et que l'opérateur [] peut être utilisé indifféremment dans une expression ou à gauche d'une affectation.

Créer une classe int2db , dérivée de int2d, permettant de manipuler des tableaux dynamiques, dans lesquels on peut fixer les "bornes" (valeur minimale et valeur maximale) des deux indices ; les quatre valeurs correspondantes seront fournies en arguments du constructeur de int2db.

On ne se préoccupera pas, ici, des problèmes éventuellement posés par la recopie ou l'affectation d'objets de type int2db.

Solution

Il suffit, en fait, de généraliser à la classe int2d, le travail réalisé dans l'exercice précédent pour la classe vect. Voici ce que pourrait être notre classe int2db (ici, on ne trouve qu'une définition, dans la mesure où les fonctions membre de int2db ont été fournies "en ligne") :

```
#include "int2d.h"
class int2db : public int2d
{   int ligdeb, ligfin ;      // bornes (mini, maxi) premier indice
    int coldeb, colfin ;      // bornes (mini, maxi) second indice
  public :                    // constructeur
    int2db (int ld, int lf, int cd, int cf) : int2d (lf-ld+1, cf-cd+1)
      {  ligdeb = ld ; ligfin = lf ;
         coldeb = cd ; colfin = cf ;
      }
    int & int2db::operator () (int i, int j)     // rédéfinition de operator ()
      {  return int2d::operator () (i-ligdeb, j-coldeb) ;
      }
} ;
```

Notez que, là non plus, aucune protection d'indice supplémentaire n'est à prévoir dans int2db, dès lors qu'elle a déjà été prévue dans int2d.

Exercice IX.7

Enoncé

Soit une classe vect permettant de manipuler des "vecteurs dynamiques" d'entiers, dont la déclaration (fournie dans un fichier vect.h) se présente ainsi (notez la présence de membres "protégés") :

```
class vect
{ protected :     // en prévision d'une éventuelle classe dérivée
    int nelem ;        // nombre d'éléments
    int * adr ;        // adresse zone dynamique contenant les éléments
  public :
    vect (int) ;              // constructeur
    ~vect () ;                // destructeur
    int & operator [] (int) ; // accès à un élément par son "indice"
} ;
```

On suppose que le constructeur alloue effectivement l'emplacement nécessaire et que l'opérateur [] peut être utilisé indifféremment dans une expression ou à gauche d'une affectation. En revanche, comme on peut le voir, cette classe n'a pas prévu de constructeur par recopie et elle n'a pas surdéfini l'opérateur d'affectation. L'affectation et la transmission par valeur d'objets de type vect posent donc les "problèmes habituels".

Créer une classe vectok, dérivée de vect, de manière à ce que l'affectation et la transmission par valeur d'objets de type vectok se déroule convenablement. Pour faciliter l'utilisation de cette nouvelle classe, introduire une fonction membre taille fournissant la dimension d'un vecteur.

Ecrire un petit programme d'essai.

Solution

Manifestement, la classe vectok n'a pas besoin de définir de nouveaux membres donnée. Pour déclarer des objets de type vectok, il faudra pouvoir en préciser la dimension, ce qui signifie que vectok devra absolument disposer d'un constructeur approprié. Ce dernier se contentera toutefois de retransmettre la valeur reçue en argument au constructeur de vect ; il aura donc un corps vide. Notez qu'il n'est pas nécessaire de prévoir un destructeur (car celui de vect sera appelé en cas de destruction d'un objet de type vectok et il n'y a rien de plus à faire).

Notez que pour gérer convenablement la recopie ou l'affectation d'objets, nous nous contenterons de la méthode déjà rencontrée qui consiste à dupliquer les objets concernés (en en faisant une "copie profonde").

Pour satisfaire aux contraintes de l'énoncé, il nous faut donc prévoir de définir, dans vectok, un constructeur par recopie. Il faut alors tenir compte de ce que la recopie d'un objet de type vectok (qui fera donc appel à ce constructeur) entraînera alors l'appel du constructeur de vect qui sera indiqué dans l'en-tête du constructeur par recopie de vectok, du moins si une telle information est précisée (dans le cas contraire, il y aurait appel d'un constructeur sans argument de vect, ce qui n'est pas possible ici). Ici, nous disposons donc de deux possibilités :

- demander l'appel du constructeur par recopie de vect, ce qui conduit à cet en-tête :

```
vectok::vectok (vectok & v) : vect (v)
```

(rappelons que l'argument v, de type vectok, sera implicitement converti en type vect, pour pouvoir être transmis au constructeur vect).

Cette façon de faire conduit à la création d'un objet de type vect, obtenu par recopie (par défaut) de v. Il faudra alors compléter le travail en créant un nouvel emplacement dynamique pour le vecteur et en adaptant correctement la valeur de adr.

- demander l'appel du constructeur à un argument de vect, ce qui conduit à cet en-tête :

```
vectok::vectok (vectok & v) : vect (v.nelem)
```

Cette fois, il y aura création d'un nouvel objet de type vect, avec son propre emplacement dynamique, dans lequel il faudra néanmoins recopier les valeurs de v. C'est cette dernière solution que nous choisirons ici.

Toujours pour satisfaire aux contraintes de l'énoncé, nous devons surdéfinir l'affectation dans la classe vectok. Ici, aucun choix ne se présente. Nous utiliserons l'algorithme présenté dans l'exercice VII.4.

Voici ce que pourraient être la déclaration et la définition de notre classe vectok :

```
         /**** déclaration de la classe vectok ****/
#include "vect.h"
class vectok : public vect
{        // pas de nouveaux membres donnée
  public :
    vectok (int dim) : vect (dim)   // constructeur de vectok : se contente
     {}                             // de passer dim au constructeur de vect
    vectok (vectok &) ;             // constructeur par recopie de vectok
    vectok & operator = (vectok &); // surdéfinition de l'affectation de vectok
    int taille ()
       { return nelem ;
       }
} ;
     /***** définition du constructeur par recopie de vectok *****/
     // il doit obligatoirement prévoir des arguments pour un constructeur
     //    (quelconque) de vect (ici le constructeur à un argument)
vectok::vectok (vectok & v) : vect (v.nelem)
{  int i ;
   for (i=0 ; i<nelem ; i++)  adr[i] = v.adr[i] ;
}
     /***** définition de l'affectation entre vectok *****/
vectok & vectok::operator = (vectok & v)
{  if (this != &v)
     { delete adr ;
       adr = new int [nelem = v.nelem] ;
       int i ;
       for (i=0 ; i<nelem ; i++) adr[i] = v.adr[i] ;
     }
   return (*this) ;
}
```

Remarque :

Voici, à titre indicatif, ce que serait la définition du constructeur par recopie de vectok, dans le cas où l'on ferait appel au constructeur par recopie (par défaut) de vect :

```
vectok::vectok (vectok & v) : vect (v)
{  nelem = v.nelem ;
   adr = new int [nelem] ;
   int i ;
   for (i=0 ; i<nelem ; i++)
      adr[i] = v.adr[i] ;
}
```

Ici, il a fallu allouer un nouvel emplacement pour un vecteur, ce qui n'était pas le cas lorsque l'on faisait appel au constructeur à un argument de vect (puisque ce dernier faisait déjà une telle allocation).

Voici un exemple de programme utilisant la classe vectok :

```
#include <iostream.h>
```

```
#include "vectok.h"
main()
{  void fct (vectok) ;
   vectok v(6) ;
   int i ;
   for (i=0 ; i<v.taille() ; i++) v[i] = i ;
   cout << "vecteur v : " ;
   for (i=0 ; i<v.taille() ; i++) cout << v[i] << " " ;
   cout << "\n" ;
   vectok w(3) ;
   w = v ;
   cout << "vecteur w : " ;
   for (i=0 ; i<w.taille() ; i++) cout << w[i] << " " ;
   cout << "\n" ;
   fct (v) ;

}
void fct (vectok v)
{  cout << "vecteur reçu par fct : " << "\n" ;
   int i ;
   for (i=0 ; i<v.taille() ; i++) cout << v[i] << " " ;
}
```

CHAPITRE X :
L'HERITAGE MULTIPLE

RAPPELS

Depuis la version 2.0, C++ autorise l'héritage multiple : une classe peut hériter de plusieurs autres classes, comme dans cet exemple où la classe pointcol hérite simultanément des classes point et coul ;

```
class pointcol : public point, public coul      // chaque dérivation, ici publique
                                                // pourrait être privée
   {         // définition des membres supplémentaires (données ou fonctions)
             // ou redéfinition de membres existants déjà dans point ou coul
   } ;
```

Chacune des dérivations peut être publique ou privée. Les modalités d'accès aux membres de chacune des classes de base restent les mêmes que dans le cas d'une dérivation "simple". L'opérateur de résolution de portée (::) peut être utilisé :

- soit lorsque l'on veut accéder à un membre d'une des classes de base, alors qu'il est redéfini dans la classe dérivée,
- soit lorsque deux classes de base possèdent un membre de même nom et qu'il faut alors préciser celui qui nous intéresse.

Appel des constructeurs et des destructeurs

La création d'un objet entraîne l'appel du constructeur de chacune des classes de base, dans l'ordre où ces constructeurs sont mentionnés dans la déclaration de la classe dérivée (ici, point puis coul puisque nous avons écrit class pointcol : public point, public coul). Les destructeurs sont appelés dans l'ordre inverse.

Le constructeur de la classe dérivée peut mentionner, dans son en-tête, des informations à retransmettre à chacun des constructeurs des classes de base (ce sera généralement indispensable, sauf si une classe de base possède un constructeur sans argument ou si elle ne dispose pas du tout de constructeur). En voici un exemple :

```
pointcoul ( .....) : point (.....), coul (.....)
             |               |             |
             |               |             |
         arguments       arguments     arguments
         pointcoul         point         coul
```

Classes virtuelles

Par le biais de dérivations successives, il est tout à fait possible qu'une classe hérite "deux fois" d'une même classe. En voici un exemple dans lequel D hérite deux fois de A :

```
class B : public A
   { ..... } ;
class C : public A
   { ..... } ;
class D : public B, public C
   { ..... } ;
```

Dans ce cas, les membres donnée de la classe en question (A dans notre exemple) apparaissent **deux fois** dans la classe dérivée de deuxième niveau (ici D). Naturellement, il est nécessaire de faire appel à l'opérateur de résolution de portée (::) pour lever l'ambiguïté. Si l'on souhaite que de tels membres n'apparaissent qu'une seule fois dans la classe dérivée de deuxième niveau, il faut, dans les déclarations des dérivées de premier niveau (ici B et C) déclarer avec l'attribut **virtual** la classe dont on veut éviter la duplication (ici A).

Voici comment on procéderait dans l'exemple précédent (le mot virtual peut être indifféremment placé avant ou après le mot public ou le mot private) :

```
class B : public virtual A
   { ..... } ;
class C : public virtual A
   { ..... } ;
class D : public B, public C
   { ..... } ;
```

Lorsque l'on a déclaré ainsi une "classe virtuelle", il est nécessaire que les constructeurs d'éventuelles classes dérivées puissent préciser les informations à transmettre au constructeur de cette classe virtuelle (dans le cas "usuel" où l'on autorise la duplication, ce problème ne se pose plus ; en effet, chaque constructeur transmet les informations aux classes ascendantes dont les constructeurs transmettent, à leur tour, les informations aux constructeurs de chacune des "occurrences" de la classe en question - ces informations pouvant éventuellement être différentes). Dans ce cas, on le précise dans l'en-tête du constructeur de la classe dérivée, en plus des arguments destinés aux constructeurs des classes du niveau immédiatement supérieur, comme dans cet exemple :

```
D ( .....) : B (.....), C ( ..... ), A ( ..... )
      |          |          |           |
      |          |          |           |
  arguments   arguments  arguments   arguments
    de D       pour B      pour C      pour A
```

De plus, dans ce cas, les constructeurs des classes B et C (qui ont déclaré que A était "virtuelle") n'auront plus à spécifier d'informations pour un constructeur de A

Enfin, le constructeur d'une classe virtuelle est toujours appelé avant les autres.

Exercice X.1

Enoncé

Quels seront les résultats fournis par ce programme :

```
#include <iostream.h>
class A
{   int n ;
    float x ;

  public :
    A (int p = 2)
      { n = p ; x = 1 ;
        cout << "** construction objet A : " << n << " " << x << "\n" ;
      }
} ;

class B
{   int n ;
    float y ;
  public :
    B (float v = 0.0)
      { n = 1 ;  y = v ;
        cout << "** construction objet B : " << n << " " << y << "\n" ;
      }
} ;

class C : public B, public A
{   int n ;
    int p ;
  public :
    C (int n1=1, int n2=2, int n3=3, float v=0.0) : A (n1), B(v)
      { n = n3 ; p = n1+n2 ;
     cout << "** construction objet C : " << n << " " << p <<"\n" ;
      }
} ;

main()
{  C c1 ;
   C c2 (10, 11, 12, 5.0) ;
}
```

Solution

L'objet c1 est créé par appel successif des constructeurs de B, puis de A (ordre imposé par la déclaration de la classe C, et non par l'en-tête du constructeur de C!). Le jeu de la transmission des arguments et des arguments par défaut conduit au résultat suivant :

```
** construction objet B : 1 0
** construction objet A : 1 1
** construction objet C : 3 3
** construction objet B : 1 5
** construction objet A : 10 1
```

```
** construction objet C : 12 21
```

Exercice X.2

Enoncé

Même question que précédemment, en remplaçant simplement l'en-tête du constructeur de C par :

```
C (int n1=1, int n2=2, int n3=3, float v=0.0) :  B(v)
```

Solution

Ici, comme le constructeur de C n'a prévu aucun argument pour un éventuel constructeur de A, il y aura appel d'un constructeur sans argument, c'est-à-dire, en fait, appel du constructeur de A, avec toutes les valeurs prévues par défaut. Voici le résultat obtenu :

```
** construction objet B : 1 0
** construction objet A : 2 1
** construction objet C : 3 3
** construction objet B : 1 5
** construction objet A : 2 1
** construction objet C : 12 21
```

Exercice X.3

Enoncé

Même question que dans l'exercice X.1, en supposant que l'en-tête du constructeur de C est la suivante :

```
C (int n1=1, int n2=2, int n3=3, float v=0.0)
```

Solution

Cette fois, la construction d'un objet de type C entraînera l'appel d'un constructeur sans argument, à la fois pour B et pour A. Voici les résultats obtenus :

```
** construction objet B : 1 0
** construction objet A : 2 1
** construction objet C : 3 3
** construction objet B : 1 0
** construction objet A : 2 1
** construction objet C : 12 21
```

Exercice X.4

Enoncé

Quels seront les résultats fournis par ce programme :

```
#include <iostream.h>
class A
{   int na ;
  public :
    A (int nn=1)
      { na = nn ;
        cout << "$$construction objet A " << na << "\n" ;
      }
} ;

class B : public A
{   float xb ;
  public :
    B (float xx=0.0)
      { xb = xx ;
        cout << "$$construction objet B " << xb << "\n" ;
      }
} ;

class C : public A
{   int nc ;
  public :
    C (int nn= 2) : A (2*nn+1)
      { nc = nn ;
        cout << "$$construction objet C " << nc << "\n" ;
      }
} ;

class D : public B, public C
{   int nd ;
  public :
    D (int n1, int n2, float x) : C (n1), B (x)
     { nd = n2 ;
       cout << "$$construction objet D " << nd << "\n" ;
     }
} ;

main()
{  D d (10, 20, 5.0) ;
}
```

Solution

La construction d'un objet de type D entraînera l'appel des constructeurs de B et de C, lesquels, avant leur exécution, appelleront chacun un constructeur de A : dans le cas de B, il y aura appel d'un constructeur sans argument (puisque l'en-tête de B ne mentionne pas de liste d'arguments pour A) ; en revanche, dans le cas de C, il s'agira (plus classiquement) d'un constructeur à un argument, comme mentionné dans l'en-tête de C).

Notez bien qu'il y a création de deux objets de type A. Voici les résultats obtenus :

```
$$construction objet A 1
$$construction objet B 5
$$construction objet A 21
$$construction objet C 10
$$construction objet D 20
```

Exercice X.5

Enoncé

Transformer le programme précédent, de manière à ce qu'un objet de type D ne contienne qu'une seule fois les membres de A (qui se réduisent en fait à l'entier na). On s'arrangera pour que le constructeur de A soit appelé avec la valeur 2*nn+1, dans laquelle nn désigne l'argument du constructeur de C.

Solution

Dans la déclaration des classes B et C, il faut indiquer que la classe A est "virtuelle", de manière à ce qu'elle ne soit incluse qu'une fois dans d'éventuelles descendantes de ces classes. D'autre part, le constructeur de D doit prévoir, outre les arguments pour les constructeurs de B et de C, ceux destinés à un constructeur de A.

En résumé, la déclaration de A reste inchangée, celle de B est transformée en :

```
class B : public virtual A
 {  // le reste est inchangé
 }
```

Celle de C est transformée de façon analogue :

```
class C : public virtual A
 {  // le reste est inchangé
 }
```

Enfin, dans D, l'en-tête du constructeur devient :

```
D (int n1, int n2, float x) : C (n1), B (x), A (2*n1+1)
```

A titre indicatif, voici les résuslats que fournirait le programme précédent ainsi transformé :

```
$$construction objet A 21
$$construction objet B 5
```

```
$$construction objet C 10
$$construction objet D 20
```

Exercice X.6

Enoncé

On souhaite créer une classe liste permettant de manipuler des "listes chaînées" dans lesquelles la nature de l'information associée à chaque "noeud" de la liste n'est pas connue (par la classe). Une telle liste corrrespondra au schéma suivant :

dessin à reprendre dans "Programmer en Turbo C++"

(C. DELANNOY) page 321

La déclaration de la classe liste se présentera ainsi :

```
struct element                          // structure d'un élément de liste
{ element * suivant ;                   // pointeur sur l'élément suivant
  void * contenu ;                      // pointeur sur un objet quelconque
} ;
class liste
{ element * debut ;                     // pointeur sur premier élément
         // autres membres données éventuels
 public :
  liste () ;                            // constructeur
  ~liste () ;                           // destructeur
  void ajoute (void *) ;                // ajoute un élément en début de liste
  void * premier () ;                   // positionne sur premier élément
  void * prochain () ;                  // positionne sur prochain élément
  int fini () ;
} ;
```

La fonction ajoute devra ajouter, en début de liste, un élément pointant sur l'information dont l'adresse est fournie en argument (void*). Pour "explorer" la liste, on a prévu trois fonctions :

- premier, qui fournira l'adresse de l'information associée au premier noeud de la liste et qui, en même temps, préparera le processus de parcours de la liste,

- prochain, qui fournira l'adresse de l'information associée au "prochain noeud" ; des appels successifs de prochain devront permettre de parcourir la liste (sans qu'il soit nécessaire d'appeler une autre fonction),

- fini, qui permettra de savoir si la fin de liste est atteinte ou non.

1) Compléter la déclaration précédente de la classe liste et en fournir la définition de manière à ce qu'elle fonctionne comme demandé.

2) Soit la classe point suivante :

```
class point
{ int x, y ;
 public :
  point (int abs=0, int ord=0) { x=abs ; y=ord ; }
  void affiche () { cout << "Coordonnées : " << x << " " << y << "\n" ; }
} ;
```

Créer une classe liste_points, dérivée à la fois de liste et de point, pour qu'elle puisse permettre de manipuler des listes chaînées de points, c'est-à-dire des listes comparables à celles présentées ci-dessus, et dans lesquelles l'information associée est de type point. On devra pouvoir, notamment :

- ajouter un point en début d'une telle liste,

- disposer d'une fonction membre affiche affichant les informations associées à chacun des points de la liste de points.

3) Ecrire un petit programme d'essai.

Solution

1) Manifestement, les fonctions premier et prochain nécessitent un "pointeur sur un élément courant". Il sera membre donnée de la classe liste.

Nous conviendrons (classiquement) que la fin de liste est matérialisée par un noeud comportant un pointeur "nul". La classe liste devra disposer d'un constructeur dont le rôle se limitera à l'initialiser à une "liste vide", ce qui s'obtiendra simplement en plaçant un pointeur nul comme adresse de début de liste (cette façon de procéder simplifie grandement l'algorithme d'ajout d'un élément en début de liste, puisqu'elle évite d'avoir à distinguer des autres le cas de la liste vide).

Comme un objet de type liste est amené à créer différents emplacements dynamiques, il est nécessaire de prévoir la libération de ces emplacements lorsque l'objet est détruit. Il faudra donc prévoir un destructeur, chargé de détruire les différents noeuds de la liste. A ce propos, notez qu'il n'est pas possible ici de demander au destructeur de détruire également les informations associées ; en effet, d'une part, ce n'est pas l'objet de type liste qui a alloué ces emplacements : ils sont sous la responsabilité de l'utilisateur de la classe liste.

Voici ce que pourraît être notre classe liste complète :

```
struct element                          // structure d'un élément de liste
{ element * suivant ;                   // pointeur sur l'élément suivant
  void * contenu ;                      // pointeur sur un objet quelconque
} ;
class liste
{ element * debut ;                     // pointeur sur premier élément
  element * courant ;                   // pointeur sur élément courant
 public :
  liste ()                              // constructeur
```

```
    { debut = NULL ;
      courant = debut ;                    //   par sécurité
    }
  ~liste () ;                              // destructeur
  void ajoute (void *) ;                   // ajoute un élément en début de liste
  void * premier ()                        // positionne sur premier élément
    { courant = debut ; return (courant->contenu) ; }
  void * prochain ()                       // positionne sur prochain élément
    { if (courant != NULL) courant = courant->suivant ;
      return (courant->contenu) ;
    }
  int fini () { return (courant == NULL) ; }
} ;
liste::~liste ()
{ element * suiv ;
  courant = debut ;
  while (courant != NULL )
   { suiv = courant->suivant ; delete courant ; courant = suiv ; }
}
void liste::ajoute (void * chose)
{ element * adel = new element ;
  adel->suivant = debut ;
  adel->contenu = chose ;
  debut = adel ;
}
```

2) Comme nous le demande l'énoncé, nous allons donc créer une classe liste_points par :

```
class liste_points : public liste, public point
```

Notez que cet héritage, apparemment naturel, conduit néanmoins à introduire, dans la classe liste_points, deux membres donnée (x et y) n'ayant aucun intérêt par la suite.

En revanche, la création des fonctions membre demandées devient extrêmement simple. En effet, la fonction d'insertion d'un point en début de liste peut être la fonction ajoute de la classe liste : nous n'aurons donc même pas besoin de la surdéfinir. En ce qui concerne la fonction d'affichage de tous les points de la liste (que nous nommerons également affiche), il lui suffira de faire appel :

- aux fonctions premier, prochain et fini de la classe liste pour le parcours de la liste de points,
- à la fonction affiche de la classe point pour l'affichage d'un point.

Nous aboutissons à ceci :

```
class liste_points : public liste, public point
{ public :
   liste_points () {}
   void affiche () ;
} ;
void liste_points::affiche ()
{ point * ptr = (point *) premier() ;
  while ( ! fini() ) {  ptr->affiche () ; ptr = (point *) prochain() ; }
}
```

3) Exemple de programme d'essai :

```
#include "listepts.h"
main()
{ liste_points l ;
  point a(2,3), b(5,9), c(0,8) ;
```

```
  l.ajoute (&a) ; l.affiche () ; cout << "---------\n" ;
  l.ajoute (&b) ; l.affiche () ; cout << "---------\n" ;
  l.ajoute (&c) ; l.affiche () ; cout << "---------\n" ;
}
```

A titre indicatif, voici les résultats fournis par ce programme :

```
Coordonnées : 2 3
---------
Coordonnées : 5 9
Coordonnées : 2 3
---------
Coordonnées : 0 8
Coordonnées : 5 9
Coordonnées : 2 3
---------
```

CHAPITRE XI :
LES FONCTIONS VIRTUELLES

RAPPELS

Typage statique des objets (ou ligature dynamique des fonctions)

Les règles de compatibilité entre une classe de base et une classe dérivée permettent d'affecter à un pointeur sur une classe de base la valeur d'un pointeur sur une classe dérivée. Toutefois, par défaut, le type des objets pointés est défini lors de la compilation. Par exemple, avec :

```
class A                          class B : public A
{  .....                         {  .....
   public :                         public :
     void fct (...) ;                 void fct (...) ;
     .....                            .....
};                                 } ;

A * pta ;
B * ptb ;
```

une affectation telle que pta = ptb est autorisée. Néanmoins, quel que soit le contenu de pta (autrement dit, quel que soit l'objet pointé par pta), pta-> fct(...) **appelle toujours la fonction fct de la classe A**.

Les fonctions virtuelles

L'emploi des fonctions virtuelles permet d'éviter les problèmes inhérents au typage statique. Lorsqu'une fonction est déclarée virtuelle (mot clé **virtual**) dans une classe, les appels à une telle fonction ou à n'importe laquelle de ses redéfinitions dans des classes dérivées sont "résolus" au moment de l'exécution, en fonction du type de l'objet concerné. On parle de typage dynamique des objets (ou de ligature dynamique des fonctions). Par exemple, avec :

```
class A                          class B : public A
{  .....                         {  .....
   public :                         public :
     virtual void fct (...) ;         void fct (...) ;
     .....                            .....
};                                 } ;
```

```
A * pta ;
B * ptb ;
```

l'instruction pta-> fct (...) appellera la fonction fct de la classe correspondant réellement au type de l'objet pointé par pta.

N.B. : il peut y avoir ligature dynamique, même en dehors de l'utilisation de pointeurs (voyez, par exemple, l'exercice XI.2).

Règles

- le mot clé virtual ne s'emploie qu'une fois pour une fonction donnée ; plus précisément, il ne doit pas accompagner les redéfinitions de cette fonction dans les classes dérivées,

- une méthode déclarée virtuelle dans une classe de base peut ne pas être redéfinie dans ses classes dérivées,

- une fonction virtuelle peut être surdéfinie (chaque fonction surdéfinie pouvant être ou ne pas être virtuelle),

- un constructeur ne peut pas être virtuel, un destructeur peut l'être.

- de par sa nature même, le mécanisme de ligature dynamique est limité à une hiérarchie de classes ; souvent, pour qu'il puisse s'appliquer à toute une bibliothèque de classes, on sera amené à faire hériter toutes les classes de la bibliothèque d'une même classe de base.

Les fonctions virtuelles pures

Une "fonction virtuelle pure" se déclare avec une initialisation à zéro, comme dans :

```
virtual void affiche () = 0 ;
```

Lorsqu'une classe comporte au moins une fonction virtuelle pure, elle est considérée comme "abstraite", c'est-à-dire qu'il n'est plus possible de créer des objets de son type.

Une fonction déclarée virtuelle pure dans une classe de base doit obligatoirement être redéfinie dans une classe dérivée ou déclarée à nouveau virtuelle pure (depuis la version 3.0 de C++, une fonction virtuelle pure peut ne pas être déclarée dans une classe dérivée et, dans ce cas, elle est à nouveau implicitement fonction virtuelle pure de cette classe dérivée).

Exercice XI.1

Enoncé

Quels résultats produira ce programme :

```
#include <iostream.h>
class point
{ protected :            // pour que x et y soient accessibles à pointcol
   int x, y ;
```

```
  public :
   point (int abs=0, int ord=0) { x=abs ; y=ord ; }
   virtual void affiche ()
     { cout << "Je suis un point \n" ;
       cout << "   mes coordonnées sont : " << x << " " << y << "\n" ;
     }
} ;

class pointcol : public point
{  short couleur ;
  public :
   pointcol (int abs=0, int ord=0, short cl=1) : point (abs, ord)
     { couleur = cl ;
     }
   void affiche ()
     { cout << "Je suis un point coloré \n" ;
       cout << "   mes coordonnées sont : " << x << " " << y ;
       cout << "   et ma couleur est :    " << couleur << "\n" ;
     }
} ;
main()
{  point p(3,5) ; point * adp = &p ;
   pointcol pc (8,6,2) ; pointcol * adpc = &pc ;
   adp->affiche () ; adpc->affiche () ;      // instructions 1
   cout << "-----------------\n" ;
   adp = adpc ;
   adp->affiche () ; adpc->affiche () ;      // instructions 2
}
```

Solution

Dans les instructions 1, adp (de type point*) pointe sur un objet de type point, tandis que adpc (de type pointcol *) pointe sur un objet de type pointcol. Il y a appel de la fonction affiche, respectivement de point et de pointcol ; l'existence du "typage dynamique" n'apparaît pas clairement puisque, même en son absence (c'est-à-dire si la fonction affiche n'avait pas été déclarée virtuelle), on aurait obtenu le même résultat.

En revanche, dans les instructions 2, adp (de type point*) pointe maintenant sur un objet de type pointcol. Grâce au typage dynamique, adp-> affiche() appelle bien la fonction affiche du type pointcol.

Voici les résultats complets fournis par le programme :

```
Je suis un point
   mes coordonnées sont : 3 5
Je suis un point coloré
   mes coordonnées sont : 8 6   et ma couleur est :    2
-----------------
Je suis un point coloré
   mes coordonnées sont : 8 6   et ma couleur est :    2
Je suis un point coloré
   mes coordonnées sont : 8 6   et ma couleur est :    2
```

Exercice XI.2

Enoncé

Quels résultats produira ce programme :

```
#include <iostream.h>
class point
{ int x, y ;
 public :
  point (int abs=0, int ord=0) { x=abs ; y=ord ; }
  virtual void identifie ()
    { cout << "Je suis un point \n" ;
    }
  void affiche ()
    { identifie () ;
      cout << "Mes coordonnées sont : " << x << " " << y << "\n" ;
    }
} ;

class pointcol : public point
{ short couleur ;
 public :
  pointcol (int abs=0, int ord=0, int cl=1 ) : point (abs, ord)
    { couleur = cl ;
    }
  void identifie ()
    { cout << "Je suis un point coloré de couleur : " << couleur << "\n" ;
    }
} ;



main()
{ point p(3,4) ;
  pointcol pc(5,9,5) ;
  p.affiche () ;
  pc.affiche () ;
  cout << "---------------\n" ;
  point * adp = &p ;
  pointcol * adpc = &pc ;
  adp->affiche () ; adpc->affiche () ;
  cout << "---------------\n" ;
  adp = adpc ;
  adp->affiche () ; adpc->affiche () ;
}
```

Solution

Dans la fonction affiche de point, l'appel de identifie fait l'objet d'une ligature dynamique (puisque cette dernière fonction a été déclarée virtuelle). Lorsqu'un objet de type pointcol appelle une fonction affiche, ce sera bien la fonction affiche de point qui sera appelée (puisque affiche n'est pas redéfinie dans pointcol). Mais cette dernière fera appel, dans ce cas, à la fonction identifie de pointcol. Bien entendu, lorsqu'un objet

de type point appelle affiche, cette dernière fera toujours appel à la fonction identifie de point (le même résultat serait obtenu sans ligature dynamique).

Voici les résultats complets fournis par notre programme :

```
Je suis un point
Mes coordonnées sont : 3 4
Je suis un point coloré de couleur : 5
Mes coordonnées sont : 5 9
---------------
Je suis un point
Mes coordonnées sont : 3 4
Je suis un point coloré de couleur : 5
Mes coordonnées sont : 5 9
---------------
Je suis un point coloré de couleur : 5
Mes coordonnées sont : 5 9
Je suis un point coloré de couleur : 5
Mes coordonnées sont : 5 9
```

Exercice XI.3

Enoncé

On souhaite créer une classe nommée ens_heter permettant de manipuler des ensembles dont le type des éléments est non seulement inconnu de la classe, mais également susceptible de varier d'un élément à un autre. Pour que la chose soit possible, on imposera simplement la contrainte suivante : tous les types concernés devront dériver d'un même type de base nommé base. Le type base sera supposé connu au moment où l'on définit la classe ens_heter.

La classe base disposera au moins d'une fonction virtuelle pure nommée affiche ; cette fonction devra être redéfinie dans les classes dérivées pour afficher les caractéristiques de l'objet concerné.

La classe ens_heter disposera des fonctions membre suivantes :

- ajoute pour ajouter un nouvel élément à l'ensemble (elle devra s'assurer qu'il n'existe pas déjà),
- appartient pour tester l'appartenance d'un élément à l'ensemble,
- cardinal qui fournira le nombre d'éléments de l'ensemble.

De plus, la classe devra être munie d'un "itérateur", c'est-à-dire d'un mécanisme permettant de parcourir les différents éléments de l'ensemble. On prévoira 3 fonctions :

- init pour initialiser le mécanisme d'itération,
- suivant qui fournira en retour le prochain élément (objet d'un type dérivé de base),
- existe pour préciser s'il existe encore un élément non examiné.

Enfin, une fonction nommée liste permettra d'afficher les caractéristiques de tous les éléments de l'ensemble (elle fera, bien sûr, appel aux fonctions affiche des différents objets concernés).

On réalisera ensuite un petit programme d'essai de la classe ens_heter, en créant un ensemble comportant des objets de type point (deux coordonnées entières) et complexe (une partie réelle et une partie imaginaire, toutes deux de type float). Naturellement, point et complexe devront dériver de base.

On ne se préoccupera pas des éventuels problèmes posés par l'affectation ou la transmission par valeur d'objets du type ens_heter.

Solution

Manifestement, la classe ens_heter ne contiendra pas les objets correspondants aux éléments de l'ensemble, mais seulement des pointeurs sur ces différents éléments. A moins de fixer le nombre maximal d'éléments a priori, il est nécessaire de conserver ces pointeurs dans un emplacement alloué dynamiquement par le constructeur ; ce dernier comportera donc un argument permettant de préciser le nombre maximal d'éléments requis pour l'ensemble.

Outre l'adresse (adel) de ce tableau de pointeurs, on trouvera en membres donnée :

- le nombre maximal d'éléments (nmax),
- le nombre courant d'éléments (nelem),
- un entier (courant) qui servira au mécanisme d'itération (il désignera une adresse du tableau de pointeurs...)

En ce qui concerne les fonctions ajoute et appartient, elles devront manifestement recevoir en argument un objet d'un type dérivé de base. Compte tenu de ce que l'on ne fait aucune hypothèse a priori sur la nature de tels objets, il est préférable d'éviter une transmission d'argument par valeur. Par souci de simplicité, nous choisirons une transmission par référence.

Les mêmes réflexions s'appliquent à la valeur de retour de la fonction suivant.

Voici, en définitive, la déclaration de notre classe ens_heter :

```
          /*         fichier ensheter.H         */
          /* déclaration de la classe ens_heter */
class base ;
class ens_heter
{  int nmax ;       // nombre maximal d'éléments
   int nelem ;      // nombre courant d'éléments
   base * * adel ;  // adresse zone de pointeurs sur les objets éléments
   int courant ;    // numéro d'élément courant (pour l'itération)

 public :
   ens_heter (int=20) ;       // constructeur
   ~ens_heter () ;            // destructeur
   void ajoute (base &) ;     // ajout d'un élément
   int appartient (base &) ;  // appartenance d'un élément
   int cardinal () ;          // cardinal de l'ensemble
   void init () ;             // initialisation itération
   base & suivant () ;        // passage élément suivant
   int existe () ;            //
   void liste () ;            // affiche les "valeurs" des différents éléments
} ;
```

La classe base (déclaration et définition) découle directement de l'énoncé :

```
class base
{ public :
    virtual void affiche () = 0 ;
```

```
} ;
```

Voici la définition des fonctions membre de ens_heter (notez que leur compilation nécessite la déclaration (définition) précédente de la classe base (et non pas seulement une simple indication de la forme class base) :

```
      /* définition de la classe ens_heter */
#include "ensheter.h"
ens_heter::ens_heter (int dim)
{  nmax = dim ;
   adel = new base * [dim] ;
   nelem = 0 ;
   courant = 0 ;        // précaution
}
ens_heter::~ens_heter ()
{  delete adel ;
}
void ens_heter::ajoute (base & obj)
{  if ((nelem < nmax) && (!appartient (obj))) adel [nelem++] = & obj ;
}
int ens_heter::appartient (base & obj)
{  int trouve = 0 ;
   init () ;
   while ( existe () && !trouve)  if ( &suivant() == & obj) trouve=1 ;
   return trouve ;
}
int ens_heter::cardinal ()
{   return nelem ;
}

void ens_heter::init ()
{  courant = 0 ;
}

base & ens_heter::suivant ()
{  if (courant<nelem) return (* adel [courant++]) ;
      // en pratique, il faudrait renvoyer un objet "bidon" si fin ensemble atteinte
}

int ens_heter::existe ()
{   return (courant<nelem) ;
}

void ens_heter::liste ()
{   init () ;
    while ( existe () )
       suivant () . affiche () ;
}
```

Voici un petit programme qui définit deux classes point et complexe, dérivées de base et qui crée un petit ensemble hétérogène (sa compilation nécessite la déclaration de la classe base). A la suite figure le résultat de son exécution :

```
#include <iostream.h>
#include "ens_heter.h"
#include "base.h"
```

```
class point : public base
{   int x, y ;
  public :
    point (int abs=0, int ord=0)
      { x = abs ; y = ord ;
      }
    void affiche ()
      { cout << "Point de coordonnées : " << x << " " << y << "\n" ;
      }
} ;

class complexe : public base
{   float re, im ;
  public :
    complexe (float reel=0.0, float imag=0.0)
      { re = reel ; im = imag ;
      }
    void affiche ()
      {  cout << "Complexe - partie réelle : " << re
              << ", partie imaginaire : " << im << "\n" ;
      }
} ;


     /* utilisation de la classe ens_heter */
main()
{   point p (1,3) ;
    complexe z (0.5, 3) ;
    ens_heter e ;
    cout << "cardinal de e : " << e.cardinal() << "\n" ;
    cout << "contenu de e  \n" ;
    e.liste () ;
    e.ajoute (p) ;
    cout << "cardinal de e : " << e.cardinal() << "\n" ;
    cout << "contenu de e  \n" ;
    e.liste () ;
    e.ajoute (z) ;
    cout << "cardinal de e : " << e.cardinal() << "\n" ;
    cout << "contenu de e  \n" ;
    e.liste () ;
    e.init () ; int n=0 ;
    while (e.existe()) { e.suivant() ;
                         n++ ;
                       }
    cout << "avec l'itérateur, on trouve : " << n << " éléments\n" ;
}
```

```
cardinal de e : 0
contenu de e
cardinal de e : 1
contenu de e
Point de coordonnées : 1 3
cardinal de e : 2
contenu de e
Point de coordonnées : 1 3
Complexe - partie réelle : 0.5, partie imaginaire : 3
avec l'itérateur, on trouve : 2 éléments
```

Remarque :

Si l'on cherchait à résoudre les problèmes posés par l'affectation et la transmission par valeur d'objets de type ens_heter, on serait amené à choisir entre deux méthodes :

- effectuer des "copies complètes" (on dit souvent "profondes") de l'objet, c'est-à-dire en tenant compte, non seulement de ses membres, mais aussi de ses parties dynamiques,

- utiliser un "compteur de référence" associé à chaque partie dynamique de façon à en éviter la duplication.

Or, la première méthode conduirait effectivement à recopier la partie dynamique de l'ensemble, c'est-à-dire le tableau de pointeurs d'adresse base *. Mais, que faudrait-il faire pour les éléments eux-mêmes (pointés par les différentes valeurs du dit tableau)? Même si l'on admet qu'il faut également les dupliquer, il n'est pas possible de le faire sans connaître la "structure" des objets concernés, à moins d'imposer à chaque objet de disposer de fonctions appropriées permettant d'en réaliser une copie profonde.

La deuxième méthode pose des problèmes voisins en ce qui concerne le traitement à appliquer aux objets qui sont des éléments d'un ensemble de type ens_heter. Disposent-ils d'un compteur de référence? Si oui, comment le mettre à jour?

D'une manière générale, vous voyez que cet exemple, par les questions qu'il soulève, plaide largement en faveur de la constitution de bibliothèques d'objets, dans lesquelles sont définies, a priori, un certain nombre de règles communes. Parmi ces règles, on pourrait notamment imposer à chaque objet de posséder une fonction (de nom unique) en assurant la copie profonde ; naturellement, pour pouvoir l'utiliser correctement, il faudrait que la ligature dynamique soit possible, c'est-à-dire que tous les objets concernés dérivent d'un même objet de base.

CHAPITRE XII :
LES FLOTS D'ENTREE ET DE SORTIE

RAPPELS

Un flot est un "canal recevant (flot "d'entrée") ou fournissant (flot de "sortie") de l'information. Ce canal est associé à un périphérique ou à un fichier. Un flot d'entrée est un objet de type istream tandis qu'un flot de sortie est un objet de type ostream. Le flot cout est un flot de sortie prédéfini, connecté à la sortie standard stdout ; de même, le flot cin est un flot d'entrée prédéfini, connecté à l'entrée standard stdin. Les informations fournies ici sont valables à partir de la version 2.0.

La classe ostream

Elle surdéfinit l'opérateur << sous la forme d'une fonction membre :

```
ostream & operator << (expression)
```

L'expression correspondant à son deuxième opérande peut être d'un type de base quelconque, y compris char, char * (on obtient la chaîne pointée) ou un pointeur sur un type quelconque autre que char (on obtient la valeur du pointeur) ; pour obtenir la valeur de l'adresse d'une chaîne, on la convertit artificiellement en un pointeur de type void *.

Fonctions membre :

ostream & put (char c) : transmet au flot correspondant le caractère c.

ostream & write (void * adr, int long) : envoie long caractères, prélevés à partir de l'adresse adr.

La classe istream

Elle surdéfinit l'opérateur >> sous forme d'une fonction membre :

```
istream & operator >> (& type_de_base)
```

Le type_de_base peut être quelconque, pour peu qu'il ne s'agisse pas d'un pointeur (char * est cependant accepté - il correspond à l'entrée d'une chaîne de caractères, et non d'une adresse).

Les "espaces_blancs" (espace, tabulation horizontale \t ou verticale \v , fin de ligne \n, retour chariot \r et changement de page \f) servent de "délimiteurs" (comme dans scanf), y compris pour les chaînes de caractères.

Principales fonctions membres :

`istream & get (char & c)` : extrait un caractère du flot d'entrée et le range dans c.

`int get ()` : extrait un caractère du flot d'entrée et en renvoie la valeur (sous forme d'un entier) ; fournit EOF en cas de fin de fichier.

`istream & read (void * adr, int taille)` lit taille caractères sur le flot et les range à partir de l'adresse adr.

La classe iostream

Elle est dérivée de istream et ostream. Elle permet de réaliser des entrées sorties "conversationnelles".

Le statut d'erreur d'un flot

A chaque flot est associé un ensemble de bits d'un entier formant le "statut d'erreur du flot".

Les bits d'erreur :

La classe ios (dont dérivent istream et ostream) définit les constantes suivantes :

eofbit : fin de fichier (le flot n'a plus de caractères disponibles),

failbit : la prochaine opération sur le flot ne pourra pas aboutir,

badbit : le flot est dans un état irrécupérable,

goodbit (valant, en fait 0) : aucune des errreurs précédentes.

Une opération sur le flot a réussi lorsque l'un des bits goodbit ou eofbit est activé. La prochaine opération sur le flot ne pourra réussir que si goodbit est activé (mais il n'est pas certain qu'elle réussisse !).

Lorsqu'un flot est dans un état d'erreur, aucune opération ne peut aboutir tant que la condition d'erreur n'a pas été corrigée et que le bit d'erreur correspondant n'a pas été remis à zéro (à l'aide de la fonction clear).

Accès aux bits d'erreur : ios contient 5 fonctions membre :

`eof()` : valeur de eofbit,

`bad()` : valeur de badbit,

`fail ()` : valeur de failbit,

`good ()` : 1 si aucun bit du statut d'erreur n'est activé,

`rdstate ()` : valeur du statut d'erreur (entier).

Modification du statut d'erreur :

void clear (int i= 0) donne la valeur i au statut d'erreur. Pour activer un seul bit (par exemple badbit), on procédera ainsi (fl étant un flot) :

```
fl.clear (ios::badbit | fl rdstate() ) ;
```

Surdéfinition de () et de !

Si fl est un flot, (fl) est vrai si aucun des bits d'erreur n'est activé (c'est-à-dire si good est vrai) ; de même, !fl est vrai si un des bits d'erreur précédents est activé (c'est-à-dire si good est faux).

Surdéfinition de < < et > > pour des types classe

On surdéfinira < < et > > pour une classe quelconque, sous forme de fonctions amies, en utilisant ces "canevas" :

```
ostream & operator << (ostream sortie, type_classe objet[1])
{
     // Envoi sur le flot sortie des membres de objet en utilisant
     // les possibilités classiques de << pour les types de base
     // c'est-à-dire des instructions de la forme :
     //     sortie << ..... ;
   return sortie ;
}

istream & operator >> (istream & entree, type_de_base & objet)
{
     // Lecture des informations correspondant aux différents membres de objet
     // en utilisant les possibilités classiques de >> pour les types de base
     // c'est-à-dire des instructions de la forme :
     //     entree >> ..... ;
   return entree ;
}
```

Le mot d'état du statut de formatage

A chaque flot, est associé un "statut de formatage" constitué d'un mot d'état et de 3 valeurs numériques (gabarit, précision et caractère de remplissage).

Voici (page ci-conre) les principaux bits du mot d'état :

NOM DE CHAMP (s'il existe)	NOM DU BIT	SIGNIFICATION (quand activé)
ios::basefield	ios::dec	conversion décimale
	ios::oct	conversion octale
	ios::hex	conversion hexadécimale

[1] Ici, la transmission peut se faire par valeur ou par référence

	ios::showbase	affichage indicateur de base (en sortie)
	ios::showpoint	affichage point décimal (en sortie)
ios::floatfield	ios::scientific	notation "scientifique"
	ios::fixed	notation "point fixe"

Le mot d'état du statut de formatage (partiel)

Action sur le statut de formatage

On peut utiliser, soit des "manipulateurs" qui peuvent être "simples" ou "paramétriques", soit des fonctions membre.

a) Les manipulateurs non paramétriques

Ils s'emploient sous la forme :

```
flot << manipulateur

flot >> manipulateur
```

Les principaux manipulateurs non paramétriques sont présentés en page suivante :

MANIPULATEUR	UTILISATION	ACTION
dec	Entrée/Sortie	Active le bit de conversion décimale
hex	Entrée/Sortie	Active le bit de conversion hexadécimale
oct	Entrée/Sortie	Active le bit de conversion octale
endl	Sortie	Insère un saut de ligne et vide le tampon
ends	Sortie	Insère un caractère de fin de chaîne (\0)

Les principaux manipulateurs non paramétriques

b) Les manipulateurs paramétriques

Ils s'utilisent sous la forme :

```
istream & manipulateur (argument)
```

```
ostream & manipulateur (argument)
```

Voici les principaux :

MANIPULATEUR	UTILISATION	ROLE
setbase (int)	Entrée/Sortie	Définit la base de conversion
setprecision (int)	Entrée/Sortie	Définit la précision des nombres flottants
setw (int)	Entrée/Sortie	Définit le gabarit. Il retombe à 0 après chaque opération

Les principaux manipulateurs paramétriques

Association d'un flot à un fichier

La classe ofstream, dérivant de ostream permet de créer un flot de sortie associé à un fichier :

```
ofstream flot (char * nomfich, mode_d_ouverture)
```

La fonction membre seekp (déplacement, origine) permet d'agir sur le pointeur de fichier.

De même, la classe ifstream, dérivant de istream, permet de créer un flot d'entrée associé à un fichier :

```
ifstream flot (char * nomfich, mode_d_ouverture)
```

La fonction membre seekg (déplacement, origine) permet d'agir sur le pointeur de fichier

Dans tous les cas, la fonction close permet de fermer le fichier.

L'utilisation des classes ofstream et ifstream demande l'inclusion du fichier fstream.h.

Modes d'ouverture d'un fichier

BIT DE MODE D'OUVERTURE	ACTION
ios::in	Ouverture en lecture (obligatoire pour la classe ifstream)
ios::out	Ouverture en écriture (obligatoire pour la classe ofstream)
ios::app	Ouverture en ajout de données (écriture en fin de fichier)
ios::ate	Se place en fin de fichier après ouverture
ios::trunc	Si le fichier existe, son contenu est perdu (obligatoire si ios::out est activé sans ios::ate ni ios::app
ios::nocreate	Le fichier doit exister
ios::noreplace	Le fichier ne doit pas exister (sauf si ios::ate ou ios::app est activé)

Les différents modes d'ouverture d'un fichier

Exercice XI.1

Enoncé

Ecrire un programme qui lit un nombre réel et qui en affiche le carré sur un "gabarit" minimal de 12 caractères, de 22 façons différentes :

- en "point fixe", avec un nombre de décimales variant de 0 à 10,
- en notation scientifique, avec un nombre de décimales variant de 0 à 10.

Dans tous les cas, on affichera les résulats avec cette présentation :

```
précision de xx chiffres : ccccccccccc
```

Solution

Il faut donc activer, d'abord le bit fixed, ensuite le bit scientific du champ floatfield. Nous utiliserons la fonction setf, membre de la classe ios. Notez bien qu'il faut éviter d'écrire, par exemple :

```
setf (ios::fixed) ;
```

ce qui aurait pour effet d'activer le bit fixed, sans modifier les autres donc, en particulier, sans modifier les autres bits du champ floatfield.

Le gabarit d'affichage est déterminé par le manipulateur setw. Notez qu'il faut transmettre ce manipulateur au flot concerné, juste avant d'afficher l'information voulue.

```
#include <iostream.h>
#include <iomanip.h>       //pour les "manipulateurs paramétriques"
main()
{  float val, carre ;
   cout << "donnez un nombre réel : " ;
   cin  >> val ;
   carre = val*val ;
   cout << "Voici son carré : \n" ;
   int i ;
   cout << "  en notation point fixe : \n" ;
   cout.setf (ios::fixed, ios::floatfield) ;   // met à 1 le bit ios::fixed
                                               // du champ ios::floatfield
   for (i=0 ; i<10 ; i++)
      cout << "      précision de " << setw (2) << i << " chiffres : "
           << setprecision (i) << setw (12) << carre << "\n" ;
   cout << "  en notation scientifique : \n" ;
   cout.setf (ios::scientific, ios::floatfield) ;
   for (i=0 ; i<10 ; i++)
      cout << "      précision de " << setw (2) << i << " chiffres : "
           << setprecision (i) << setw (12) << carre << "\n" ;
}
```

Exercice XII.2

Enoncé

Soit la classe point suivante :

```
class point
{   int x, y ;
   public :
    // fonctions membre
} ;
```

Surdéfinir les opérateurs << et >>, de manière à ce qu'il soit possible de lire un point sur un flot d'entrée ou d'écrire un point sur un flot de sortie. On prévoira qu'un tel point soit représenté sous la forme :

```
<entier, entier>
```

avec éventuellement des séparateurs "espaces_blancs" supplémentaires, de part et d'autre des nombres entiers.

Solution

Nous devons donc surdéfinir les opérateurs << et >> pour qu'ils puissent recevoir, en deuxième opérande, un argument de type point. Il ne pourra s'agir que de fonctions amies, dont les prototypes se présenteront ainsi :

```
ostream & operator << (ostream &, point) ;

istream & operator >> (istream &, point) ;
```

L'écriture de operator << ne présente pas de difficultés particulières : on se contente d'écrire, sur le flot concerné, les coordonnées du point, accompagnées des symboles < et >.

En revanche, l'écriture de operator >> nécessite un peu plus d'attention. En effet, il faut s'assurer que l'information se présente bien sous la forme requise et, si ce n'est pas le cas, prévoir de donner au flot concerné l'état bad, afin que l'utilisateur puisse savoir que l'opération s'est mal déroulée (en testant "naturellement" l'état du flot).

Voici ce que pourrait être la déclaration de notre classe (nous l'avons simplement munie d'un contructeur) et la définition des deux fonctions amies voulues :

```
#include <iostream.h>

class point
{  int x, y ;
  public :
   point (int abs=0, int ord=0)
     { x = abs ; y = ord ; }
   int abscisse () { return x ; }
   friend ostream & operator << (ostream &, point) ;
   friend istream & operator >> (istream &, point &) ;
```

```
} ;

ostream & operator << (ostream & sortie, point p)
{ sortie << "<" << p.x << "," << p.y << ">" ;
  return sortie ;
}




istream & operator >> (istream & entree, point & p)
{  char c = '\0' ;
   float x, y ;
   int ok = 1 ;
   entree >> c ;
   if (c != '<') ok = 0 ;
      else
       { entree >> x >> c ;
         if (c != ',') ok = 0 ;
            else
               { entree >> y >> c ;
                 if (c != '>') ok = 0 ;
               }
       }
   if (ok) { p.x = x ; p.y = y ; }         // on n'affecte à p que si tout est OK
      else entree.clear (ios::badbit | entree.rdstate () ) ;
   return entree ;
}
```

A titre indicatif, voici un petit programme d'essai, accompagné d'un exemple d'exécution :

```
main()
{ char ligne [121] ;
  point a(2,3), b ;
  cout << "point a : " << a << "  point b : " << b << "\n" ;
  do
   { cout << "donnez un point : " ;
     if (cin >> a)  cout << "merci pour le point : " << a << "\n" ;
             else { cout << "** information incorrecte \n" ;
                    cin.clear () ;
                    cin.getline (ligne, 120, '\n') ;
                  }
   }
  while ( a.abscisse () ) ;
}
```

```
point a : <2,3>  point b : <0,0>
donnez un point : 4,5
** information incorrecte
donnez un point : <4,5<
** information incorrecte
donnez un point : <4,5>
merci pour le point : <4,5>
donnez un point : < 8,   9     >
merci pour le point : <8,9>
```

```
donnez un point : bof
** information incorrecte
donnez un point : <0,0>
merci pour le point : <0,0>
```

Exercice XII.3

Enoncé

Ecrire un programme qui enregistre (sous forme "binaire", et non pas formatée), dans un fichier de nom fourni par l'utilisateur, une suite de nombres entiers fournis sur l'entrée standard. On conviendra que l'utilisateur fournira la valeur 0 (qui ne sera pas enregistrée dans le fichier) pour préciser qu'il n'a plus d'entiers à entrer.

Solution

Si nomfich désigne une chaîne de caractères, la déclaration :

```
ofstream sortie (nomfich, ios::out) ;
```

permet de créer un flot de nom sortie, de l'associer au fichier dont le nom figure dans nomfich et d'ouvrir ce fichier en écriture.

L'écriture dans le fichier en question se fera par la fonction write, appliquée au flot sortie.

Voici le programme demandé :

```
const int LGMAX = 20 ;
#include <stdlib.h>                          // pour exit
#include <iostream.h>
#include <fstream.h>
#include <iomanip.h>
main()
{
   char nomfich [LGMAX+1] ;
   int n ;
   cout << "nom du fichier à créer : " ;
   cin >> setw (LGMAX) >> nomfich ;
   ofstream sortie (nomfich, ios::out) ;
   if (!sortie) { cout << "création impossible \n" ;
                  exit (1) ;
                }
   do
      { cout << "donnez un entier : " ;
        cin >> n ;
        if (n) sortie.write ((char *)&n, sizeof(int) ) ;
      }
```

```
    while (n && sortie) ;

    sortie.close () ;
}
```

Notez que if (!sortie) est équivalent à if (!sortie.good()) et que while (n && sortie) est équivalent à while (n && sortie.good()).

Exercice XII.4

Enoncé

Ecrire un programme permettant de lister (sur la sortie standard) les entiers contenus dans un fichier tel que celui créé par l'exercice précédent.

Solution

```
const int LGMAX = 20 ;
#include <stdlib.h>                          // pour exit
#include <iostream.h>
#include <fstream.h>
#include <iomanip.h>
main()
{
   char nomfich [LGMAX+1] ;
   int n ;
   cout << "nom du fichier à lister : " ;
   cin >> setw (LGMAX) >> nomfich ;
   ifstream entree (nomfich, ios::in) ;
   if (!entree) { cout << "ouverture impossible \n" ;
                  exit (1) ;
                }
   while ( entree.read ( (char*)&n, sizeof(int) ) )
        cout << n << "\n" ;

   entree.close () ;
}
```

Exercice XII.5

Enoncé

Ecrire un programme permettant à un utilisateur de retrouver, dans un fichier tel que celui créé dans l'exercice XII.3, les entiers dont il fournit le "rang". On conviendra qu'un rang égal à 0 signifie que l'utilisateur souhaite mettre fin au programme.

Solution

```
const int LGMAX_NOM_FICH = 20 ;
#include <stdlib.h>               // pour exit
#include <iostream.h>
#include <fstream.h>
#include <iomanip.h>
main()
{
  char nomfich [LGMAX_NOM_FICH + 1] ;
  int n, num ;
  cout << "nom du fichier à consulter : " ;
  cin >> setw (LGMAX_NOM_FICH) >> nomfich ;
  ifstream entree (nomfich, ios::in) ;
  if (!entree) { cout << "Ouverture impossible\n" ;
                 exit (1) ;
               }
  do
    { cout << "Numéro de l'entier recherché : " ;
      cin >> num ;
      if (num)
         { entree.seekg (sizeof(int) * (num-1) , ios::beg ) ;
           entree.read ( (char *) &n, sizeof(int) ) ;
           if (entree) cout << "-- Valeur : " << n << "\n" ;
              else {  cout << "-- Erreur\n" ;
                      entree.clear () ;
                   }
         }
    }
  while (num) ;
  entree.close () ;
}
```

CHAPITRE XIII :
LES PATRONS DE FONCTIONS
(Depuis la Version 3 seulement)

RAPPELS

Introduite par la version 3, la notion de patron de fonctions permet de définir ce qu'on nomme souvent des "fonctions génériques". Plus précisément, à l'aide d'une unique définition comportant des "paramètres de type", on décrit toute une famille de fonctions ; le compilateur "fabrique" (on dit aussi instancie) la ou les fonctions nécessaires à la demande (on nomme souvent ces instances des fonctions patron).

La version 3 limite les paramètres d'un patron de fonctions à des paramètres de type ; beaucoup d'implémentations toutefois acceptent également des "paramètres expression" et cette possibilité sera probablement reconnue de la future norme ANSI de C++. Toutefois, pour plus de clarté, nous la présenterons séparément.

Définition d'un patron de fonctions

On précise les paramètres (muets) de type, en faisant précéder chacun du mot (relativement arbitraire) class sous la forme template < class ..., class ..., ...> . La définition de la fonction est classique, hormis le fait que les paramètres muets de type peuvent être employés n'importe où un type effectif est permis. Par exemple :

```
template <class T, class U> void fct (T a, T * b, U c)
{
   T x ;               // variable locale x de type T
   U *  adr ;          // variable locale adr de type U *
   ...
   adr = new T [10] ;  // allocation tableau de 10 éléments de type T
   ...
   n = sizeof (T) ;    // une instruction utilisant le type T
   ...
}
```

Remarque :

Une instruction telle que (T désignant un type quelconque) :

```
T x (3) ;
```

est légale même si T n'est pas un type classe ; dans ce dernier cas, elle est simplement équivalente à :

```
T x = 3 ;
```

Instanciation d'une fonction patron

A chaque fois qu'on utilise une fonction ayant un nom de patron, le compilateur cherche à utiliser ledit patron pour créer (instancier) une fonction adéquate. Pour ce faire, il cherche à réaliser une **correspondance exacte** des types (aucune conversion, qu'il s'agisse de promotion numérique ou de conversion standard n'est permise)[1].

Voici des exemples utilisant notre patron précédent :

```
int n, p ; float x ; char c ;
int * adi ; float * adf ;
class point ; point p ; point * adp ;

fct (n, adi, x) ;       // instancie la fonction void fct (int, int *, float)
fct (n, adi, p)         // instancie la fonction void fct (int, int *, int)
fct (x, adf, p) ;       // instancie la fonction void fct (float, float *, int)
fct (c, adi, x) ;       // erreur char et int * ne correspondent pas à T et T*
                        //         ( pas de conversion)
fct (&n, &adi, x) ;     // instancie la fonction void fct (int *, int * *, float)
fct (p, adp, n) ;       // instancie la fonction void fct (point, point *, int)
```

D'une manière générale, il est nécessaire que **chaque paramètre de type** apparaisse **au moins une fois dans l'en-tête** du patron.

Remarque :

La définition d'un patron de fonctions ne peut pas être compilée seule ; de toute façon, elle doit être connue du compilateur pour qu'il puisse instancier la bonne fonction patron. En général, les définitions de patrons de fonctions figureront dans des fichiers d'extension h, de façon à éviter d'avoir à en fournir systématiquement la liste.

Les paramètres expression d'un patron de fonctions

Bien que cette notion n'apparaisse pas dans la version 3, elle sera très probablement introduite dans la norme ANSI de C++. Un paramètre expression d'un patron de fonctions se présente comme un argument usuel de fonction ; il n'apparaît pas dans la liste de paramètres de type (template) et il doit apparaître dans l'en-tête du patron. Par exemple :

```
template <class T> int compte (T * tab, int n)
{  // ici, on peut se servir de la valeur de l'entier n
   // comme on le ferait dans n'importe quelle fonction ordinaire
}
```

---

1 - A priori, même, la version 3 n'autorise même pas les conversions dites triviales (telles que T en T& ou, mieux, T[] en T*) ; toutefois, il est probable que celles-ci seront acceptées par la norme ANSI de C++ (au même titre qu'elles sont acceptées dans les correspondances exactes pour les fonctions surdéfinies).

Lors de l'instanciation d'une fonction patron, il est nécessaire de réaliser une correspondance exacte sur les paramètres expression (aucune conversion n'est possible, contrairement à ce qui se produit dans le cas de surdéfinition de fonction).

Surdéfinition de patrons de fonctions et spécialisation de fonctions de patrons

On peut définir plusieurs patrons de même nom, possédant des paramètres (de type ou expression) différents. La seule règle à respecter dans ce cas est que l'appel d'une fonction de ce nom ne doit pas conduire à une ambiguïté : un seul patron de fonctions doit pouvoir être utilisé à chaque fois.

Par ailleurs, il est possible de fournir la définition d'une ou plusieurs fonctions particulières qui seront utilisées en lieu et place de celle instanciée par un patron. Par exemple, avec :

```
template <class T> T min (T a, T b)      // patron de fonctions
{ ... }
char * min (char * cha, char * chb)      // version spécialisée pour le type char *
{ ... }
int n, p;
char * adr1, * adr2 ;

min (n, p)            // appelle la fonction instanciée par le patron général
                      //  soit ici  :    int min (int, int)
min (adr1, adr2)      // appelle la fonction spécialisée
                      //                 char * min (char *, char *)
```

Algorithme d'instanciation ou d'appel d'une fonction

Précisons comment doivent être aménagées les règles de recherche d'une fonction surdéfinie, dans le cas où il existe un ou plusieurs patrons de fonctions.

Lors d'un appel de fonction, le compilateur recherche tout d'abord une correspondance exacte avec les fonctions "ordinaires". S'il y a ambiguïté, la recherche échoue (comme à l'accoutumée). Si aucune fonction "ordinaire" ne convient, on examine alors tous les patrons ayant le nom voulu. Si une seule correspondance exacte est trouvée, la fonction correspondante est instanciée[2] et le problème est résolu. S'il y en a plusieurs, la recherche échoue..

Enfin, si aucun patron de fonction ne convient, on examine à nouveau toutes les fonctions "ordinaires" en les traitant cette fois comme de simples fonctions surdéfinies (promotions numériques, conversions standards[3]...).

Exercice XIII.1

Enoncé

Créer un patron de fonctions permettant de calculer le carré d'une valeur de type quelconque (le résultat possèdera le même type). Ecrire un petit programme utilisant ce patron.

2 - Du moins, si elle ne l'a pas déjà été.

3 - Revoyez éventuellement le paragraphe 5.3 du chapitre 4.

Solution

Ici, notre patron ne comportera qu'un seul paramètre de type (correspondant à la fois à l'unique argument et à la valeur de retour de la fonction). Sa définition ne pose pas de problème particulier.

```
#include <iostream.h>
template <class T> T carre (T a)
  { return a * a ;
  }
main()
{ int n = 5 ;
  float x = 1.5 ;
  cout << "carre de " << n << " = " << carre (n) << "\n" ;
  cout << "carre de " << x << " = " << carre (x) << "\n" ;
}
```

Exercice XIII.2

Enoncé

Soit cette définition de patron de fonctions :

```
template <class T, class U> T fct (T a, U b, T c)
{ .....
}
```

Avec les déclarations suivantes :

```
int n, p, q ;
float x ;
char t[20] ;
char c ;
```

Quels sont les appels corrects et, dans ce cas, quels sont les prototypes des fonctions instanciées ?

```
  fct (n, p, q) ;          // appel I
  fct (n, x, q) ;          // appel II
  fct (x, n, q) ;          // appel III
  fct (t, n, &c) ;         // appel IV
```

Solution

l'appel I est correct ; il instancie la fonction :

```
int fct (int, int, int)
```

l'appel II est correct ; il instancie la fonction :

```
int fct (int, float, int)
```

l'appel III est incorrect.

l'appel IV est théoriquement incorrect dans la version 3 car char * n'est pas considéré comme une correspondance exacte pour un char [20] ; il sera probablement accepté dans la norme ANSI et il instanciera alors la fonction :

```
char * fct (char *, int, char *)
```

Exercice XIII.3

Enoncé

Créer un patron de fonctions permettant de calculer la somme d'un tableau d'éléments de type quelconque, le nombre d'éléments du tableau étant fourni en paramètre (on supposera que l'environnement utilisé accepte les "paramètres expression"). Ecrire un petit programme utilisant ce patron.

Solution

```
// définition du patron de fonctions
template <class T> T somme (T * tab, int nelem)
{ T som ;
  int i ;
  som = 0 ;
  for (i=0 ; i<nelem ; i++)  som = som + tab[i] ;
  return som ;
}

// exemple d'utilisation
#include <iostream.h>
main()
{ int ti[] = {3, 5, 2, 1} ;
  float tf [] = {2.5, 3.2, 1.8} ;
  char tc[] = { 'a', 'e', 'i', 'o', 'u' } ;
  cout << somme (ti, 4) << "\n"  ;
  cout << somme (tf, 3) << "\n"  ;
  cout << somme (tc, 5) << "\n"  ;
}
```

Remarques :

1) Tel qu'il a été conçu, le patron somme ne peut être appliqué qu'à un type T pour lequel :

   - l'opération d'addition a un sens ; cela signifie donc qu'il ne peut pas s'agir d'un type pointeur ; il peut s'agir d'un type classe, à condition que cette dernière ait surdéfini l'opérateur d'addition,

   - la déclaration T som est correcte ; cela signifie que si T est un type classe, il est nécessaire qu'il dispose d'un constructeur sans argument,

   - l'affectation som=0 est correcte ; cela signifie que si T est un type classe, il est nécessaire qu'il ait surdéfini l'affectation.

A ce propos, notons, qu'il est possible d'initialiser som lors de sa déclaration, en procédant ainsi :

```
T som (0) ;
```

Cela est équivalent à T som=0 si T est un type prédéfini ; en revanche, si T est de type classe, cela provoque l'appel d'un constructeur à 1 argument de T, en lui transmettant la valeur 0 ; le problème relatif à l'affectation som=0 ne se pose plus alors.

2) L'exécution de l'exemple proposé fourni des résultats peu satisfaisants dans le cas où l'on applique somme à un tableau de caractères, compte tenu de la capacité limitée de ce type. On pourrait améliorer la situation en "spécialisant" notre patron pour les tableaux de caractères (en prévoyant, par exemple, une valeur de retour de type int).

Exercice XIII.4

Enoncé

Soient les définitions suivantes de patrons de fonctions :

```
template <class T, class U> void fct (T a, U b)   { ... } // patron I
template <class T, class U> void fct (T * a, U b) { ... } // patron II
template <class T>          void fct (T, T, T)    { ... } // patron III
void fct (int a, float b) { .....}                        // fonction IV
```

Avec ces déclarations :

```
int n, p, q ;
float x, y ;
double z ;
```

Quels sont les appels corrects et, dans ce cas, quels sont les patrons utilisés et les prototypes des fonctions instanciées ?

```
fct (n, p) ;      // appel I
fct (x, y ) ;     // appel II
fct (n, x) ;      // appel III
fct (n, z) ;      // appel IV
fct (&n, p) ;     // appel V
fct (&n, x) ;     // appel VI
fct (&n, &p, &q) // appel VII
```

Solution

Ici, on fait appel à la fois à une surdéfinition de patrons (patrons I, II et III) et à une spécialisation de patron (fonction IV).

```
I)      patron I       void fct (int, int) ;
II)     patron I       void fct (float, float) ;
III)    fonction IV    void fct (int, float) ;
IV)     patron I       void fct (int, double) ;
V)      erreur : ambigüité entre fct (T, U) et fct (T*, U)
VI)     erreur : ambigüité entre fct (T, U) et fct (T*, U)
VII)    patron III     void fct (int *, int *, int *) ;
```

Remarque :

Le patron II ne peut jamais être utilisé ; en effet, à chaque fois qu'il pourrait l'être, le patron I peut l'être également, de sorte qu'il y a ambiguïté. Le patron II est donc, ici, parfaitement inutile.

Notez que si nous avions défini simultanément les deux patrons :

```
template <class T, class U> void fct (T a, U b) ;
template <class T>          void fct (T a, T b)
```

le même phénomène d'ambiguïté (entre ces deux patrons) serait apparu lors d'appels tels que fct (n,p) ou fct(x,y).

Rappelons que l'ambiguïté n'est détectée que lorsque le compilateur doit instancier une fonction et non simplement au vu des définitions de patrons elles-mêmes : ces dernières restent donc acceptées tant que l'ambiguïté n'est pas mise en évidence par un appel la révélant.

CHAPITRE XIV
LES PATRONS DE CLASSES
(Depuis la version 3 seulement)

RAPPELS

Introduite par la version 3, la notion de patron de classes permet de définir ce que l'on nomme aussi des "classes génériques". Plus précisément, à l'aide d'une seule définition comportant des paramètres de type et des paramètres expression[1], on décrit toute une famille de classes ; le compilateur fabrique (instancie) la ou les classes nécessaires à la demande (on nomme souvent ces instances des classes patron).

Définition d'un patron de classes

On précise les paramètres de type en les faisant précéder du mot-clé class et les paramètres expression en mentionnant leur type dans une liste de paramètres introduite par le mot template (comme pour les patrons de fonctions, avec cette différence qu'ici, tous les paramètres - type ou expression - apparaissent). Par exemple :

```
template <class T, class U, int n> class gene
{ // ici, T désigne un type quelconque, n une valeur entière quelconque
} ;
```

Si une fonction membre est définie (ce qui est le cas usuel) à l'extérieur de la définition du patron, il faut rappeler au compilateur la liste de paramètres (template) et préfixer l'en-tête de la fonction membre du nom du patron accompagné de ses paramètres[2]. Par exemple, pour un constructeur de notre patron de classes précédent :

```
template <class T, class U, int n> gene <T, U, n>::gene (...)
{ ..... }
```

---

1. Cette fois, ces paramètres sont déja prévus par la version 3 (alors que, dans le cas des patrons de fonctions, ils risquaient d'être introduits par la norme ANSI.

2. En toute rigueur, il s'agit d'une redondance, constatée, mais non justifiée, par le fondateur du langage lui-même (Stroustrup).

Instanciation d'une classe patron

On déclare une classe patron en fournissant à la suite du nom de patron un nombre de paramètres effectifs (noms de types ou expressions) correspondant aux paramètres figurant dans la liste (template). Les paramètres expression doivent obligatoirement être des expressions constantes du même type (exact[3]) que celui figurant dans la liste. Par exemple, avec notre précédent patron (on suppose que pt est une classe) :

```
class gene <int, float, 5> c1 ;      // T = int, U = float,  n = 5
class gene <int, int, 12>  c2 ;      // T = int, U = int,    n = 12
const int NV=100 ;
class gene <pt, double, NV> c3 ;     // T = pt,  U = double, n=100
int n = 5 ;
class gene <int, double, n> c4 ;     // erreur : n n'est pas constant
const char C = 'e' ;
class gene <int, double, C> c5 ;     // erreur : C de type char et non int
```

Un paramètre de type effectif peut lui-même être une classe patron. Par exemple, si nous avons défini un patron de classes point par :

```
template <class T> class point { ..... } ;
```

Voici des instances possibles de gene :

```
class gene <point<int>, float, 10> c5 ;        // T=point<int>, U=float, n=10
class gene <point<char>, point<float>, 5> c6 ; // T=point<int>, U=point<float>, n=5
```

Un patron de classes peut comporter des membres (donnée ou fonction) statiques ; dans ce cas, chaque instance de la classe dispose de son propre jeu de membres statiques.

Spécialisation d'un patron de classes

Un patron de classes ne peut pas être surdéfini (on ne peut pas définir deux patrons de même nom). En revanche, on peut spécialiser un patron de classes de différentes manières :

- **en spécialisant une fonction membre :**

Par exemple, avec ce patron :

```
template <class T, int n> class tableau { ..... } ;
```

Nous pourrons écrire une version spécialisée de constructeur pour le cas où T est le type point et où n vaut 10 en procédant ainsi :

```
tableau <point, 10>:: tableau (...) { ..... }
```

- **en spécialisant une classe** (dans ce dernier cas, on peut éventuellement spécialiser tout ou une partie des fonctions membre, mais ce n'est pas nécessaire). Par exemple, avec ce patron :

---

3. Dans la norme ANSI, les conversions triviales seront probablement acceptées.

```
template <class T> class point { ..... } ;
```

nous pouvons fournir une version spécialisée pour le cas où T est le type char en procédant ainsi :

```
class point <char>
{ // nouvelle définition de la classe point pour les caractères
} ;
```

Identité de classes patron

On ne peut affecter entre eux que deux objets de même type. Dans le cas d'objets d'un type classe patron, on considère qu'il y a identité de type lorsque leurs paramètres de types sont identiques et que les paramètres expression ont les mêmes valeurs.

Classes patron et héritage

On peut "combiner" de plusieurs façons l'héritage avec la notion de patron de classes :

- **Classe "ordinaire" dérivée d'une classe patron** ; par exemple, si A est une classe patron définie par template < class T> A :

```
class B : public A <int>    // B dérive de la classe patron A<int>
```

On obtient une seule classe nommée B

- **Patron de classes dérivé d'une classe "ordinaire"**, par exemple (A étant une classe ordinaire) :

```
template <class T> class B : public A
```

On obtient une famille de classes (de paramètre de type T).

- **Patron de classes dérivé d'un patron de classes.** Par exemple, si A est une classe patron définie par template < class T> A, on peut :

  * définir une nouvelle famille de fonctions dérivées par :

```
template <class T> class B : public A <T>
```

Dans ce cas, il existe autant de classes dérivées possibles que de classes de base possibles.

  * définir une nouvelle famille de fonctions dérivées par :

```
template <class T, class U> class B : public A <T>
```

Dans ce cas, on peut dire que chaque classe de base possible peut engendrer une famille de classes dérivées (de paramètre de type U).

Exercice XIV.1

Enoncé

Soit la définition suivante d'un patron de classes :

```
template <class T, int n> class essai
{  T tab [n] ;
```

```
  public :
   essai (T) ;     // constructeur
} ;
```

a) Donnez la définition du constructeur essai, en supposant :

- qu'elle est fournie "à l'extérieur" de la définition précédente,

- que le constructeur recopie la valeur reçue en argument dans chacun des éléments du tableau tab .

b) Disposant ainsi de la définition précédente du patron essai, de son constructeur et de ces déclarations :

```
const int n = 3 ;
int p = 5 ;
```

Quelles sont les instructions correctes et les classes instanciées : on en fournira (dans chaque cas) une définition équivalente sous forme d'une "classe ordinaire", c'est-à-dire dans laquelle la notion de paramètre a disparu.

```
essai <int, 10> ei (3) ;              // I
essai <float, n> ef (0.0) ;           // II
essai <double, p> ed (2.5) ;          // III
```

Solution

a) La définition du constructeur est analogue à celle que l'on aurait écrite "en ligne" ; il faut simplement "préfixer" son en-tête d'une liste de paramètres introduite par template. De plus, il faut préfixer l'en-tête de la fonction membre du nom du patron accompagné de ses paramètres (bien que cela soit redondant) :

```
template <class T, int n> essai<T,n>::essai(T a)
{  int i ;
   for (i=0 ; i<n ; i++) tab[i] = a ;
}
```

b) Appel I : correct

```
class essai
{  int tab [10] ;
  public :
   essai (int) ;     // constructeur
} ;

essai::essai (int a)
{  int i ;
   for (i=0 ; i<n ; i++) tab[i] = a ;
}
```

b) Appel II : correct

```
class essai
{  float tab [n] ;
  public :
   essai (float) ;     // constructeur
```

```
} ;

essai::essai (float a)
{  int i ;
   for (i=0 ; i<n ; i++) tab[i] = a ;
}
```

c) Appel III : incorrect car p n'est pas une expression constante.

Exercice XIV.2

Enoncé

a) Créer un patron de classes nommé pointcol, tel que chaque classe instanciée permette de manipuler des points colorés (deux coordonnées et une couleur) pour lesquels on puisse "choisir" à la fois le type des coordonnées et celui de la couleur. On se limitera à deux fonctions membre : un constructeur possédant trois arguments (sans valeur par défaut) et une fonction affiche affichant les coordonnées et la couleur d'un "point coloré".

b) Dans quelles conditions peut-on instancier une classe patron pointcol pour des paramètres de type classe.

Solution

a) Voici ce que pourrait être la définition du patron demandé, en prévoyant les fonctions membre "en ligne" :

```
template <class T, class U> class pointcol
{  T x, y ;    // coordonnees
   U coul ;    // couleur
  public :
   pointcol (T abs, T ord, U cl)
     { x = abs ; y = ord ; coul = cl ;
     }
   void affiche ()
     { cout << "point colore - coordonnees " << x << " " << y
            << " couleur " << coul << "\n" ;
     }
}
```

A titre indicatif, voici un exemple d'utilisation (on y suppose que la définition précédente figure dans pointcol.h :

```
#include <iostream.h>
#include "pointcol.h"

main()
{ pointcol <int, short int > p1 (5, 5, 2) ;  p1.affiche () ;
  pointcol <float, int> p2 (4, 6, 2) ; p2.affiche () ;
  pointcol <double, unsigned short> p3 ; p3.affiche () ;
```

```
}
```

b) Il suffit que le type classe en question ait convenablement surdéfini l'opérateur <<, afin d'assurer convenablement l'affichage sur cout des informations correspondantes.

Exercice XIV.3

Enoncé

On a défini le patron de classes suivant :

```
template <class T> class point
{  T x, y ;    // coordonnees
  public :
   point (T abs, T ord) { x = abs ; y = ord ; }
   void affiche () ;
} ;
template <class T> void point<T>::affiche ()
     { cout << "Coordonnees : " << x << " " << y << "\n" ;
     }
```

a) Que se passe-t-il avec ces instructions :

```
  point <char> p (60, 65) ;
  p.affiche () ;
```

b) Comment faut-il modifier la définition de notre patron pour que les instructions précédentes affichent bien :

```
Coordonnees : 60 65
```

Solution

a) On obtient l'affichage des caractères de code 60 et 65 (c'est-à-dire dans une implémentation utilisant le code ASCII : < et A) et non les nombres 60 et 65.

b) Il faut spécialiser notre patron point pour le cas où le type T est le type char. Pour ce faire, on peut :

- soit fournir une définition complète de point< char> , avec ses fonctions membre,

- soit, puisqu'ici seule la fonction affiche est concernée, se contenter de surdéfinir la fonction point< char> ::affiche, ce qui conduit à cette nouvelle définition de notre patron :

```
    // définition generale du patron point
template <class T> class point
{  T x, y ;    // coordonnees
  public :
   point (T abs, T ord) { x = abs ; y = ord ; }
   void affiche () ;
} ;
template <class T> void point<T>::affiche ()
```

```
      { cout << "Coordonnees : " << x << " " << y << "\n" ;
      }
     // version specialisee de la fonction affiche pour le type char
void point<char>::affiche ()
  { cout << "Coordonnees : " << (int)x << " " << (int)y << "\n" ;
  }
```

Remarque :

Bien que cela ne soit pas totalement formalisé, beaucoup d'implémentations n'acceptent pas que l'on spécialise une fonction membre définie en ligne ; c'est d'ailleurs pour cette raison que, dans notre énoncé, nous avions défini affiche sous forme d'une fonction indépendante.

Exercice XIV.4

Enoncé

Créer un patron de classes permettant de représenter des "vecteurs dynamiques" c'est-à-dire des vecteurs dont la dimension peut ne pas être connue lors de la compilation (ce n'est donc pas obligatoirement une expression constante comme dans le cas de tableaux usuels). On prévoira que les éléments de ces vecteurs puissent être de type quelconque.

On surdéfinira convenablement l'opérateur [] pour qu'il permette l'accès aux éléments du vecteur (aussi bien en consultation qu'en modification) et on s'arrangera pour qu'il n'existe aucun risque de "débordement d'indice". En revanche, on ne cherchera pas à régler les problèmes posés éventuellement par l'affectation ou la transmission par valeur d'objets du type concerné.

Solution

En généralisant ce qui a été fait dans l'exercice VII.7 (mais sans toutefois initialiser les éléments du vecteur lors de sa construction), nous aboutissons au patron de classes suivant[4] :

```
template <class T> class vect
{  int nelem ;     // nombre d'elements
   T * adr ;       // adresse zone dynamique contenant les elements
  public :
   vect (int) ;              // constructeur
   ~vect () ;                // destructeur
   T & operator [] (int) ;   // operateur d'acces a un element
} ;

template <class T> vect<T>::vect (int n)
{ adr = new T [nelem = n] ;
}


template <class T> vect<T>::~vect ()
```

4. La définition serait plus simple si les fonctions membre étaient "en ligne".

```
{ delete adr ;
}

template <class T> T & vect<T>::operator [] (int i)
{ if ( (i<0) || (i>nelem) ) i = 0 ;     // protection indice hors limites
  return adr [i] ;
}
```

Notez que, ici encore, nous avons fait en sorte qu'une tentative d'accès à un élément situé en dehors du vecteur conduise à accéder à l'élément de rang 0. Dans la pratique, on aura intérêt à utiliser des protections plus élaborées.

A titre indicatif, voici un petit programme utilisant ce patron (dont on suppose que la définition figure dans vectgen.h :

```
#include <iostream.h>
#include "vectgen.h"
main()
{ vect<int> vi (10) ;
  vi[5] = 5 ; vi[2] = 2 ;
  cout << vi[2] << " " << vi[5] << "\n" ;
  vect<double> vd (3) ;
  vd[0] = 0.0 ; vd[1] = 0.1 ; vd[2] = 0.2 ;
  cout << vd[0] << " " << vd[1] << " " << vd[2] << "\n" ;
  cout << vd[12] ; vd[12] = 1.2 ; cout << vd[12] << " " << vd[0] ;
}
```

Remarque :

Notre patron vect permet d'instancier des vecteurs dynamiques dans lesquels les éléments sont de type absolument quelconque, en particulier de type classe (pourvu que ladite classe dispose d'un constructeur sans argument). Il n'en serait pas allé ainsi si nous avions initialisé les éléments du tableau lors de leur construction par :

```
int i ;
for (i=0 ; i<nelem ; i++) adr[i] = 0 ;
```

En effet, dans ce cas, ces instructions auraient convenablement fonctionné pour n'importe quel type de base (par conversion de l'entier 0 dans le type voulu). En revanche, pour être applicable à des éléments de type classe, il aurait fallu, en outre, que la classe concernée dispose d'une conversion d'un int dans ce type classe, c'est-à-dire d'un constructeur à un argument de type numérique.

Exercice XIV.5

Enoncé

Comme dans l'exercice précédent, réaliser un patron de classes permettant de manipuler des vecteurs dont les éléments sont de type quelconque mais pour lesquels la dimension, supposée être cette fois une expression constante, apparaîtra comme un paramètre (expression) du patron. Hormis cette différence, les "fonctionnalités" du patron resteront les mêmes.

Solution

Il n'est donc plus nécessaire d'allouer un emplacement dynamique pour notre vecteur qui peut donc figurer directement dans les membres donnée de notre patron. Le constructeur n'est plus nécessaire (voir toutefois la remarque ci-dessous), pas plus que le destructeur. Voici ce que pourrait être la définition de notre patron[5] :

```
template <class T, int n> class vect
{  T v [n] ;      // vecteur de n elements de type T
  public :
   T & operator [] (int) ;   // operateur d'acces a un element
} ;

template <class T, int n> T & vect<T,n>::operator [] (int i)
{ if ( (i<0) || (i>n) ) i = 0 ;     // protection indice hors limites
  return v [i] ;
}
```

Voici, toujours à titre indicatif, ce que deviendrait le petit programme d'essai :

```
#include "vectgen1.h"
#include <iostream.h>
main()
{ vect<int, 10> vi  ;
  vi[5] = 5 ; vi[2] = 2 ;
  cout << vi[2] << " " << vi[5] << "\n" ;
  vect<double, 3> vd ;
  vd[0] = 0.0 ; vd[1] = 0.1 ; vd[2] = 0.2 ;
  cout << vd[0] << " " << vd[1] << " " << vd[2] << "\n" ;
  cout << vd[12] << " " ; vd[12] = 1.2 ; cout << vd[12] << " " << vd[0] ;
}
```

Remarque :

Ici, nous n'avons pas eu besoin de faire du nombre d'éléments un membre donnée de nos classes patron : en effet, lorsqu'on en a besoin, on l'obtient comme étant la valeur du second paramètre fourni lors de l'instanciation. Si nous avions voulu conserver ce nombre d'éléments sous forme d'un membre donnée, il aurait été nécessaire de prévoir un constructeur, par exemple :

```
template <class T, int n> class vect
{  int nelem ;    // nombre d'elements
   T v [n] ;      // vecteur de n elements de type T
  public :
   vect () ;
   T & operator [] (int) ;   // operateur d'acces a un element
} ;
template <class T, int n> vect<T,n>::vect ()
{ nelem = n ;
}
```

Exercice XIV.6

5. La définition serait plus simple si les fonctions membre étaient "en ligne".

Enoncé

On dispose du patron de classes suivant :

```
template <class T> class point
{  T x, y ;    // coordonnees
  public :
   point (T abs, T ord) { x = abs ; y = ord ; }
   void affiche ()
     { cout << "Coordonnees : " << x << " " << y << "\n" ;
     }
} ;
```

a) Créer, par dérivation, un patron de classes pointcol permettant de manipuler des "points colorés" dans lesquels les coordonnées et la couleur sont de même type. On redéfinira convenablement les fonctions membre en réutilisant les fonctions membre de la classe de base.

b) Même question, mais en prévoyant que les coordonnées et la couleur puissent être de deux types différents.

c) Toujours par dérivation, créer cette fois une "classe ordinaire" (c'est-à-dire une classe qui ne soit plus un patron de classes, autrement dit qui ne dépende plus de paramètres...) dans laquelle les coordonnées sont de type int, tandis que la couleur est de type short.

Solution

a) Aucun problème particulier ne se pose ; il suffit de faire dériver pointcol< T> de point< T> . Voici ce que peut être la définition de notre patron (ici, nous avons laissé le constructeur "en ligne" mais nous avons défini affiche en dehors de la classe) :

```
template <class T> class pointcol : public point<T>
{  T cl ;
  public :
   pointcol (T abs, T ord, T coul) : point<T> (abs, ord)
     { cl = coul ;
     }
   void affiche () ;
} ;

template <class T> void pointcol<T>::affiche ()
{  point<T>::affiche () ;
   cout << "    couleur : " << cl << "\n" ;
}
```

Voici un petit exemple d'utilisation (il nécessite les déclarations appropriées ou l'incorporation de fichiers .h correspondants) :

```
main()
{ pointcol <int> p1 (2, 5, 1) ; p1.affiche () ;
  pointcol <float> p2 (2.5, 5.25, 4) ; p2.affiche () ;
}
```

b) Cette fois, la classe dérivée dépend de deux paramètres (nommés ici T et U). Voici ce que pourrait être la définition de notre patron (avec, toujours, un constructeur en ligne et une fonction affiche définie à l'extérieur de la classe) :

```
template <class T, class U> class pointcol : public point<T>
{  U cl ;
  public :
   pointcol (T abs, T ord, U coul) : point<T> (abs, ord)
     { cl = coul ;
     }
   void affiche () ;
} ;
template <class T, class U> void pointcol<T, U>::affiche ()
{  point<T>::affiche () ;
   cout << "    couleur : " << cl << "\n" ;
}
```

Voici un exemple d'utilisation (on suppose qu'il est muni des déclarations appropriées) :

```
main()
{ pointcol <int, short> p1 (2, 5, 1) ; p1.affiche () ;
  pointcol <float, int> p2 (2.5, 5.25, 4) ; p2.affiche () ;
}
```

c) Cette fois, pointcol est une simple classe, ne dépendant plus d'aucun paramètre. Voici ce que pourrait être sa définition :

```
class pointcol : public point<int>
{  short cl ;
  public :
   pointcol (int abs, int ord, short coul) : point<int> (abs, ord)
     { cl = coul ;
     }
   void affiche ()
     { point<int>::affiche () ;
       cout << "    couleur : " << cl << "\n" ;
     }
} ;
```

Et un petit exemple d'utilisation :

```
main()
{ pointcol  p1 (2, 5, 1) ; p1.affiche () ;
  pointcol  p2 (2.5, 5.25, 4) ; p2.affiche () ;
}
```

Exercice XIV.7

Enoncé

On dispose du même patron de classes que précédemment :

```
template <class T> class point
{  T x, y ;    // coordonnees
```

```
  public :
   point (T abs, T ord) { x = abs ; y = ord ; }
   void affiche ()
     { cout << "Coordonnees : " << x << " " << y << "\n" ;
     }
} ;
```

a) Lui ajouter une version spécialisée de affiche pour le cas ou T est le type caractère.

b) Comme dans la question a de l'exercice précédent, créer un patron de classes pointcol permettant de manipuler des "points colorés" dans lesquels les coordonnées et la couleur sont de même type. On redéfinira convenablement les fonctions membre en réutilisant les fonctions membre de la classe de base et l'on prévoira une version spécialisée de affiche de pointcol dans le cas du type caractère.

Solution

a) Pour définir une version spécialisée d'une fonction membre, il est généralement nécessaire que cette fonction membre soit définie extérieurement au patron de classes (revoyez la remarque de l'exercice XIV.3). Voici ce que pourrait être la nouvelle définition (complète) de notre patron point :

```
template <class T> class point
{  T x, y ;    // coordonnees
  public :
   point (T abs, T ord) { x = abs ; y = ord ; }
   void affiche () ;
} ;

template <class T> void point<T>::affiche ()
{ cout << "Coordonnees : " << x << " " << y << "\n" ;
}
void point<char>::affiche ()
{ cout << "Coordonnees : " << (int)x << " " << (int)y << "\n" ;
}
```

b) Pour les mêmes raisons que précédemment, la fonction affiche de pointcol doit être définie à l'extérieur du patron. Voici ce que pourrait être cette définition :

```
template <class T> class pointcol : public point<T>
{  T cl ;
  public :
   pointcol (T abs, T ord, T coul) : point<T> (abs, ord)
     { cl = coul ;
     }
   void affiche () ;
} ;

template <class T> void pointcol<T>::affiche ()
{  point<T>::affiche () ;
   cout << "    couleur : " << cl << "\n" ;
}

void pointcol<char>::affiche ()
{  point<char>::affiche () ;
   cout << "    couleur : " << (int)cl << "\n" ;
}
```

Remarque :

Seule la question a de l'exercice XIV.6 se prêtait à une spécialisation pour le type caractère. En effet, pour la classe demandée en c, n'ayant plus affaire à un patron de classes, la question n'aurait aucun sens. En ce qui concerne la classe demandée en b, en revanche, on se trouve en présence d'une classe dérivée dépendant de 2 paramètres T et U. Il faudrait alors pouvoir spécialiser une classe, non plus pour des valeurs données de tous les (deux) paramètres, mais pour une valeur donnée (char) de l'un d'entre eux ; cette notion de famille de spécialisation n'est pas possible, du moins dans l'état actuel de la définition de C++.

Exercice XIV.8

Enoncé

On dispose du patron de classes suivant :

```
template <class T> class point
{  T x, y ;    // coordonnees
  public :
   point (T abs, T ord) { x = abs ; y = ord ; }
   void affiche ()
     { cout << "Coordonnees : " << x << " " << y << "\n" ;
     }
} ;
```

On souhaite créer un patron de classes cercle permettant de manipuler des cercles, définis par leur centre (de type point) et un rayon. On n'y prévoira, comme fonctions membre, qu'un constructeur et une fonction affiche se contentant d'afficher les coordonnées du centre et la valeur du rayon.

a) Le faire par héritage (un cercle est un point qui possède un rayon),

b) Le faire par composition d'objets membre (un cercle possède un point et un rayon).

Solution

a) La démarche est analogue à celle de la question a de l'exercice XIV.6. On a affaire à un patron dépendant de deux paramètres (ici T et U).

```
template <class T, class U> class cercle : public point<T>
{  U r ;       // rayon
  public :
   cercle (T abs, T ord, U ray) : point<T> (abs, ord)
     { r = ray ;
     }
   void affiche ()
     { point<T>::affiche () ;
       cout << "    rayon : " << r ;
     }
```

```
} ;
```

b) Le patron dépend toujours de deux paramètres (T et U) mais il n'y a plus de notion d'héritage :

```
template <class T, class U> class cercle
{  point<T> c ;  // centre
   U r ;         // rayon
  public :
   cercle (T abs, T ord, U ray) : c(abs, ord)     // pourrait r(ray)
     { r = ray ;
     }
   void affiche ()
     { c.affiche () ;
       cout << "    rayon : " << r ;
     }
} ;
```

Notez que, dans la définition du constructeur cercle, nous avons transmis les arguments abs et ord à un constructeur de point pour le membre c. Nous aurions pu utiliser la même notation pour r, bien que ce membre soit d'un type de base et non d'un type classe ; cela nous aurait conduit au constructeur suivant (de corps vide) :

```
cercle (T abs, T ord, U ray) : c(abs, ord), r(ray)
  { }
```

CHAPITRE XV :
EXERCICES DE SYNTHESE

Exercice XV.1

Enoncé

Réaliser une classe nommée set_int permettant de manipuler des ensembles de nombres entiers. Le nombre maximal d'entiers que pourra contenir l'ensemble sera précisé au constructeur qui allouera dynamiquement l'espace nécessaire. On prévoira les opérateurs suivants (e désigne un élément de type set_int et n un entier :

- < < , tel que e< < n ajoute l'élément n à l'ensemble e,
- % , tel que n%e vale 1 si n appartient à e et 0 sinon,
- < < , tel que flot < < e envoie le contenu de l'ensemble e sur le flot indiqué, sous la forme :

```
[entier1, entier2, ... entiern]
```

La fonction membre cardinal fournira le nombre d'éléments de l'ensemble. Enfin, on s'arrangera pour que l'affectation ou la transmission par valeur d'objets de type set_int ne pose aucun problème (on acceptera la duplication complète d'objets).

Solution

Naturellement, notre classe comportera, en membres donnée, le nombre maximal (nmax) d'éléments de l'ensemble, le nombre courant d'éléments (nelem) et un pointeur sur l'emplacement contenant les valeurs de l'ensemble.

Compte tenu de ce que notre classe comporte une partie dynamique, il est nécessaire, pour que l'affectation et la transmission par valeur se déroulent convenablement, de surdéfinir l'opérateur d'affectation et de munir notre classe d'un constructeur par recopie. Les deux fonctions membre (operator = et set_int) devront prévoir une "copie profonde" des objets. Nous utiliserons pour cela une méthode que nous avons déjà rencontrée et qui consiste à considérer que deux objets différents disposent systématiquement de deux parties dynamiques différentes, même si elles possèdent le même contenu.

L'opérateur % doit être surdéfini obligatoirement sous forme d'une fonction amie, puisque son premier opérande n'est pas de type classe. L'opérateur de sortie dans un flot doit, lui aussi, être surdéfini sous forme d'une fonction amie, mais pour une raison différente : son premier argument est de type ostream

Voici la déclaration de notre classe set_int :

```
          /*         fichier SETINT.H         */
          /* déclaration de la classe set_int */
class set_int
{
   int * adval ;                              // adresse du tableau des valeurs
   int nmax ;                                 // nombre maxi d'éléments
   int nelem ;                                // nombre courant d'éléments
 public :
   set_int (int = 20) ;                       // constructeur
   set_int (set_int &) ;                      // constructeur par recopie
   set_int & operator = (set_int &) ;         // opérateur d'affectation
   ~set_int () ;                              // destructeur
   int cardinal () ;                          // cardinal de l'ensemble
   set_int & operator << (int) ;              // ajout d'un élément
   friend int operator % (int, set_int &) ;   // appartenance d'un élément
                                      // envoi ensemble dans un flot
   friend ostream & operator << (ostream &, set_int &) ;
} ;
```

Voici ce que pourrait être la définition de notre classe (les points délicats sont commentés au sein même des instructions) :

```
#include <iostream.h>
#include "setint.h"

     /*************** constructeur ********************/
set_int::set_int (int dim)
{  adval = new int [nmax = dim] ;    // allocation tableau de valeurs
   nelem = 0 ;
}

     /****************** destructeur ******************/
set_int::~set_int ()
{  delete adval ;                    // libération tableau de valeurs
}

     /********** constructeur par recopie *************/
set_int::set_int (set_int & e)
{  adval = new int [nmax = e.nmax] ;   // allocation nouveau tableau
   nelem = e.nelem ;
   int i ;
   for (i=0 ; i<nelem ; i++)           // copie ancien tableau dans nouveau
    adval[i] = e.adval[i] ;
}

     /************ opérateur d'affectation ************/
set_int & set_int::operator = (set_int & e)
// surdéfinition de l'affectation - les commentaires correspondent à b = a
{  if (this != &e)                      // on ne fait rien pour a = a
     { delete adval ;                   // libération partie dynamique de b
       adval = new int [nmax = e.nmax] ; // allocation nouvel ensemble pour a
```

```
        nelem = e.nelem ;                  //      dans lequel on recopie
        int i ;                            //      entièrement l'ensemble b
        for (i=0 ; i<nelem ; i++)          //      avec sa partie dynamique
           adval[i] = e.adval[i] ;
      }
   return * this ;
}


     /************ fonction membre cardinal ***********/
int set_int::cardinal ()
{  return nelem ;
}

     /************ opérateur d'ajout << ***************/
set_int & set_int::operator << (int nb)
{        // on examine si nb appartient déjà à l'ensemble
         //   en utilisant l'opérateur %
         // s'il n'y appartient pas, et s'il y a encore de la place
         //   on l'ajoute à l'ensemble
   if ( ! (nb % *this) && nelem < nmax )  adval [nelem++] = nb ;
   return (*this) ;
}

     /*********** opérateur d'appartenance % **********/
int operator % (int nb, set_int & e)
{  int i=0 ;
         // on examine si nb appartient déjà à l'ensemble
         //  (dans ce cas i vaudra nele en fin de boucle)
   while ( (i<e.nelem) && (e.adval[i] != nb) ) i++ ;
   return (i<e.nelem) ;
}

     /****** opérateur << pour sortie sur un flot *****/
ostream & operator << (ostream & sortie, set_int & e)
{  sortie << "[ " ;
   int i ;
   for (i=0 ; i<e.nelem ; i++)
      sortie << e.adval[i] << " " ;
   sortie << "]" ;
   return sortie ;
}
```

Notez qu'ici il n'est pas possible d'agrandir l'ensemble au-delà de la limite qui lui a été impartie lors de sa construction. Il serait assez facile de remédier à cette lacune en modifiant sensiblement la fonction d'ajout d'un élément (operator < <). Il suffirait, en effet, qu'elle prévoie, lorsque la limite est atteinte, d'allouer un nouvel emplacement dynamique, par exemple d'une taille double de l'emplacement existant, d'y recopier l'actuel contenu et de libérer l'ancien emplacement (en actualisant convenablement les membres donnée de l'objet).

Voici un exemple de programme utilisant la classe set_int, accompagné du résultat fourni par son exécution :

```
     /************* test de la classe set_int *********/
#include <iostream.h>
#include "setint.h"

main()
```

```
{  void fct (set_int) ;
   void fctref (set_int &) ;
   set_int ens ;
   cout << "donnez 10 entiers \n" ;
   int i, n ;
   for (i=0 ; i<10 ; i++)
      { cin >> n ;
        ens << n ;
      }
   cout << "il y a : " << ens.cardinal () << " entiers différents\n" ;
   cout << "qui forment l\'ensemble : " << ens << "\n" ;
   fct (ens) ;
   cout << "au retour de fct, il y en a " << ens.cardinal () << "\n" ;
   cout << "qui forment l\'ensemble : " << ens << "\n" ;
   fctref (ens) ;
   cout << "au retour de fctref, il y en a " << ens.cardinal () << "\n" ;
   cout << "qui forment l\'ensemble : " << ens << "\n" ;
   cout << "appartenance de -1  : " <<  -1 % ens << "\n" ;
   cout << "appartenance de 500 : " << 500 % ens << "\n" ;
   set_int ensa, ensb ;
   ensa = ensb = ens ;
   cout << "ensemble a : " << ensa << "\n" ;
   cout << "ensemble b : " << ensb << "\n" ;
}

void fct (set_int e)
{  cout << "ensemble reçu par fct : " << e << "\n" ;
   e << -1 << -2 << -3 ;
}

void fctref (set_int & e)
{  cout << "ensemble reçu par fctref : " << e << "\n" ;
   e << -1 << -2 << -3 ;
}
```

```
donnez 10 entiers
3 5 3 1 8 5 1 7 7 3
il y a : 5 entiers différents
qui forment l'ensemble : [ 3 5 1 8 7 ]
ensemble reçu par fct : [ 3 5 1 8 7 ]
au retour de fct, il y en a 5
qui forment l'ensemble : [ 3 5 1 8 7 ]
ensemble reçu par fctref : [ 3 5 1 8 7 ]
au retour de fctref, il y en a 8
qui forment l'ensemble : [ 3 5 1 8 7 -1 -2 -3 ]
appartenance de -1  : 1
appartenance de 500 : 0
ensemble a : [ 3 5 1 8 7 -1 -2 -3 ]
ensemble b : [ 3 5 1 8 7 -1 -2 -3 ]
```

Exercice XV.2

Enoncé

Créer une classe vect permettant de manipuler des "vecteurs dynamiques" d'entiers, c'est-à-dire des tableaux d'entiers dont la dimension peut être définie au moment de leur création (une telle classe a déjà été partiellement réalisée dans l'exercice VII.7). Cette classe devra disposer des opérateurs suivants :

[] pour l'accès à une des composantes du vecteur, et cela aussi bien au sein d'une expression qu'à gauche d'une affectation (mais cette dernière situation ne devra pas être autorisée sur des "vecteurs constants"),

= = , tel que si v1 et v2 sont deux objets de type vect, v1= = v2 prenne la valeur 1 si v1 et v2 sont de même dimension et ont les mêmes composantes et la valeur 0 dans le cas contraire,

< < , tel que flot< < v envoie le vecteur v sur le flot indiqué, sous la forme :

```
<entier1, entier2, ... , entiern>
```

De plus, on s'arrangera pour que l'affectation et la transmission par valeur d'objets de type vect ne pose aucun problème ; pour ce faire, on acceptera de dupliquer complètement les objets concernés.

Solution

Rappelons que lorsque l'on définit des objets constants, il n'est pas possible de leur appliquer une fonction membre publique, sauf si cette dernière a été déclarée avec le qualificatif const (auquel cas, une telle fonction peut indifféremment être utilisée avec des objets constants ou non constants). Pour obtenir l'effet demandé de l'opérateur [], lorsqu'il est appliqué à un vecteur constant, il est nécessaire d'en prévoir deux définitions dont l'une s'applique aux vecteurs constants ; pour éviter qu'on ne puisse, dans ce cas, l'utiliser à gauche d'une affectation, il est nécessaire qu'elle renvoie son résultat par valeur (et non par adresse comme le fera la fonction applicable aux vecteurs non constants).

Voici la déclaration de notre classe :

```
class vect
{  int nelem ;                    // nombre de composantes du vecteur
   int * adr ;                    // pointeur sur partie dynamique
 public :
   vect (int n=1) ;               // constructeur "usuel"
   vect (vect & v) ;              // constructeur par recopie
   ~vect () ;                     // destructeur
   friend ostream & operator << (ostream &, vect &) ;
   vect operator = (vect & v) ;   // surdéfinition opérateur affectation
   int & operator [] (int i) ;    // surdef [] pour vect non constants
   int   operator [] (int i) const ;   // surdef [] pour vect constants
} ;
```

Voici la définition des différentes fonctions :

```
#include <stdio.h>
#include "a:\synthese\vect.h"
vect::vect (int n)                    // constructeur "usuel"
     { adr = new int [nelem = n] ;
     }

vect::vect (vect & v)                 // constructeur par recopie
     { adr = new int [nelem = v.nelem] ;
       int i ;
       for (i=0 ; i<nelem ; i++)
           adr[i] = v.adr[i] ;
```

```
     }

vect::~vect ()                      // destructeur
     { delete adr ;
     }

vect vect::operator = (vect & v)    // surdéfinition opérateur affectation
     { if (this != &v)              // on ne fait rien pour a=a
         { delete adr ;
           adr = new int [nelem = v.nelem] ;
           int i ;
           for (i=0 ; i<nelem ; i++)
             adr[i] = v.adr[i] ;
         }
       return * this ;
     }

int & vect::operator [] (int i)   // surdéfinition opérateur []
     { return adr[i] ;
     }

int   vect::operator [] (int i) const // surdéfinition opérateur [] pour cst
     { return adr[i] ;
     }

ostream & operator << (ostream & sortie, vect & v)
     { sortie << "<" ;
       int i ;
       for (i=0 ; i<v.nelem ; i++) sortie << v.adr[i] << " " ;
       sortie << ">" ;
       return sortie ;
     }
```

A titre indicatif, voici un petit programme utilisant la classe vect :

```
#include <vect.h>
#include <iostream.h>
main()
{  int i ;
   vect v1(5), v2(10) ;
   for (i=0 ; i<5 ; i++) v1[i] = i ;
   cout << "v1 = " << v1 << "\n" ;
   for (i=0 ; i<10 ; i++) v2[i] = i*i ;
   cout << "v2 = " << v2 << "\n" ;
   v1 = v2 ;
   cout << "v1 = " << v1 << "\n" ;
   vect v3 = v1 ;
   cout << "v3 = " << v3 << "\n" ;
   vect v4 = v2 ;
   cout << "v4 = " << v4 << "\n" ;
   // const vect w(3) ; w[2] = 5 ;  // conduit bien à erreur compilation
}
```

Exercice XV.3

Enoncé

En langage C++, comme en langage C, il n'existe pas, a priori, de véritable type chaîne, mais simplement une "convention" de représentation des chaînes (suite de caractères, terminée par un caractère de code nul). Un certain nombre de fonctions utilisant cette convention permettent les "manipulations classiques" (en particulier la concaténation).

Créer une classe nommée string, offrant des possibilités plus proches d'un véritable type chaîne. On devra y trouver les opérateurs suivants :

+ , tel que ch1+ch2 fournisse en résultat la chaîne obtenue par concaténation des chaînes ch1 et ch2 (sans modifier les chaînes ch1 et ch2),,

= = , tel que ch1= = ch2 prenne la valeur 1 si les deux chaînes ch1 et ch2 sont égales et la valeur 0 dans le cas contraire,

[], tel que ch[i] représente le caractère de rang i de la chaîne ch ; cet opérateur devra également pouvoir être utilisé à gauche d'une affectation (ch[i] = ...),

< < , tel que flot < < ch transmette au flot indiqué le contenu de la chaîne ch.

Une fonction membre long fournira la longueur courante d'une chaîne.

Par ailleurs, l'affectation et la transmission par valeur de chaînes devra pouvoir se faire sans problème (on acceptera de dupliquer les chaînes de même contenu).

Enfin, si ch est de type string, on devra pouvoir accepter des expressions de la forme suivante, et dont le résultat sera, lui aussi de type string :

```
ch + "hello"
"hello" + ch
```

Solution

Manifestement, il faudra conserver le contenu d'une chaîne (suite de caractères) dans un emplacement dynamique, de manière à pouvoir en faire évoluer aisément le contenu. Dans les membres donnée, on trouvera donc un pointeur (char *) sur un tel emplacement. On peut se demander s'il est nécessaire de conserver un caractère de fin de chaîne dans l'emplacement dynamique en question. En fait, à partir du moment où l'on décide de conserver la longueur (courante) d'une chaîne dans un membre donnée, ce caractère de fin n'est plus indispensable ; néanmoins, sa présence facilite les traitements à opérer sur les caractères de la chaîne, dans la mesure où il reste alors possible de faire appel aux fonctions classiques du langage C[1].

En ce qui concerne les constructeurs du type string, on peut naturellement prévoir un constructeur sans argument qui initialise la chaîne correspondante à une chaîne vide. Il faut également prévoir un constructeur par recopie.

Mais on peut également ajouter un constructeur qui fabrique une chaîne, à partir d'une chaîne classique (char *) reçue en argument. En effet, dans ce cas, on disposera alors d'une conversion char * --> string qui permettra de donner un sens à la concaténation d'un objet de type string et d'une chaîne C classique. Toutefois, cela ne sera possible pour une expression de la forme "hello" + ch que si l'opérateur + a été surdéfini sous forme d'une fonction amie (son premier opérande pourra alors être soumis à d'éventuelles conversions) et non pas sous forme d'une fonction membre.

[1] Ce qui ne sera peut-être pas le cas si l'on vise une grande efficacité en temps d'exécution.

Par ailleurs, la valeur de retour de cet opérateur doit absolument être transmise par valeur, dans la mesure où le résultat devra être généré dans une chaîne de classe automatique (elle disparaîtra à la fin de l'exécution de la fonction correspondante).

Voici ce que peut être la déclaration de notre classe string :

```
      /* fichier chaine.h : déclaration de la classe chaine */
#include <iostream.h>
#include <string.h>
class string
{ int lg ;                // longueur actuelle de la chaîne
  char * adr ;            // adresse zone contenant la chaîne
 public :
  string () ;             // constructeur I
  string (char *) ;       // constructeur II
  string (string &) ;     // constructeur III (par recopie)
  ~string ()              // destructeur ("inline")
    { delete adr ;
    }
  string & operator = (string &) ;
  long length ()          // longueur courante ("inline")
    { return lg ;
    }
  int operator == (string &) ;
  char & operator [] (int) ;
  friend string operator + (string &, string &) ;
  friend ostream & operator << (ostream &, string &) ;
} ;
```

Voici la définition des différentes fonctions :

```
     /* définitions des fonctions membre de la classe string */
#include <chaine.h>
string::string ()               // constructeur I
   {  lg = 0 ; adr=0 ;
   }

string::string (char * adc)     // constructeur II (à partir d'une chaîne C)
   { lg = strlen (adc) ;
     adr = new char [lg+1]  ;
     strcpy (adr, adc) ;
   }

string::string (string & ch)    // constructeur III (par recopie)
   { lg = ch.lg ;
     adr = new char [lg+1] ;
     strcpy (adr, ch.adr) ;
   }

string & string::operator = (string & ch)
   { if (this != & ch)                  // on ne fait rien pour a=a
       { delete adr ;
         lg = ch.lg ;
         adr = new char [lg+1] ;
         strcpy (adr, ch.adr) ;
```

```
        }
      return * this ;              // pour pouvoir utiliser
   }                               // la valeur de a=b (affectations multiples)

int string::operator == (string & ch)
   { if (strcmp (adr, ch.adr) ) return 0 ;
                           else return 1 ;
   }

char & string::operator [] (int i)
   { return adr[i] ;                          // ici, on n'a pas prévu de
   }                                          // vérification de la valeur de i

     /* définition des fonctions amies de la classe string */
ostream & operator << (ostream & sortie, string & ch)
   { sortie << ch.adr ;
     return sortie ;
   }

string operator + (string & ch1, string & ch2) // attention : la valeur de retour
   { string res ;                               // est à transmettre par valeur
     res.adr = new char [res.lg = ch1.lg + ch2.lg] ;
       strcpy (res.adr, ch1.adr) ;
       strcpy (res.adr+ch1.lg, ch2.adr) ;
     return res ;
   }
```

Voici un programme d'essai de la classe string, accompagné du résultat de son exécution :

```
     /* programme d'essai */
main()
{ string a ;
     cout << "chaine a : " << a << " de longueur " << a.length() << "\n" ;
  string b("bonjour") ;
     cout << "chaine b : " << b << "\n" ;
  string c=b ;
     cout << "chaine c : " << c << "\n" ;
  string d("hello") ;
  a = b = d ;
     cout << "chaine b : " << b << " de longueur " << b.length() << "\n" ;
     cout << "chaine a : " << a << "\n" ;
     cout << "a == b   : " << (a == b) << "\n" ;
  string x("salut "), y("chère "), z("madame");
  a = x + y + z ;
     cout << "chaine a : " << a << "\n" ;
  a = a ;
     cout << "chaine a : " << a << "\n" ;
  a = a + " - Comment allez-vous ?\n" ;
     cout << "chaine a : " << a ;
  a = "*****" + a ;
     cout << "chaine a : " << a ;
  // a = "bon" + "jour" ;    // serait rejeté en compilation
  string e("xxxxxxxxxx") ;
  for (char cr='a', i=0 ; cr<'f' ; cr++, i++ ) e[i] = cr ;
     cout << "chaine e : " << e << "\n" ;
}
```

```
chaine a :  de longueur 0
chaine b : bonjour
chaine c : bonjour
chaine b : hello de longueur 5
chaine a : hello
a == b   : 1
chaine a : salut chère madame
chaine a : salut chère madame
chaine a : salut chère madame - Comment allez-vous ?
chaine a : *****salut chère madame - Comment allez-vous ?
chaine e : abcdexxxxx
```

Exercice XV.4

Enoncé

Réaliser une classe nommée bit_array permettant de manipuler des tableaux de bits (autrement dit des tableaux dans lesquels chaque élément ne peut prendre que l'une des deux valeurs 0 ou 1. La taille d'un tableau (c'est-à-dire le nombre de bits) sera définie lors de sa création (par un argument passé à son constructeur). On prévoira les opérateurs suivants :

+=, tel que t+=n mette à 1 le bit de rang n du tableau t,

-=, tel que t-=n mette à 0 le bit de rang n du tableau t,

[], tel que l'expression t[i] fournisse la valeur du bit de rang i du tableau t (on ne prévoira pas, ici, de pouvoir employer cet opérateur à gauche d'une affectation, comme dans t[i] = ...),

++, tel que t++ mette à 1 tous les bits de t,

--, tel que t--mette à 0 tous les bits de t,

<<, tel que flot << t envoie le contenu de t sur le flot indiqué, sous la forme

```
<* bit1, bit2, ... bitn *>
```

On fera en sorte que l'affectation et la transmission par valeur d'objets du type bit_array ne pose aucun problème. De plus, les opérateurs modifiant le contenu d'un tableau ne devront pas pouvoir être appliqués à des objets constants (attribut const).

Solution

Si l'on cherche à minimiser l'emplacement mémoire utilisé pour les objets de type bit_array, il est nécessaire de n'employer qu'un seul bit pour représenter un "élément" d'un tableau. Ces bits devront donc être regroupés, par exemple à raison de CHAR_BIT (défini dans limits.h) bits par caractère.

Manifestement, il faut prévoir que l'emplacement destiné à ces différents bits soit alloué dynamiquement en fonction de la valeur fournie au constructeur : pour n bits, il faudra n/CHAR_BIT+1 caractères.

En membre donnée, il nous suffit de disposer d'un pointeur sur l'emplacement dynamique en question, ainsi que du nombre de bits du tableau. Pour simplifier certaines des fonctions membre, nous prévoirons également de conserver le nombre de caractères correspondant.

Les opérateurs +=, -=, ++ et -- peuvent être définis indifféremment sous forme d'une fonction membre ou d'une fonction amie. Ici, nous avons choisi des fonctions membre.

L'énoncé ne précise rien quant au résultat fourni par ces 4 opérateurs. En fait, on pourrait prévoir qu'ils restituent le tableau après qu'ils y ont effectué l'opération voulue, mais, en pratique, cela semble de peu d'intérêt. Ici, nous avons donc simplement prévu que ces opérateurs ne fourniraient aucun résultat.

Pour que [] ne soit pas utilisable dans une affectation de la forme t[i] = ..., il suffit de prévoir qu'il fournisse son résultat par valeur (et non par référence comme on a généralement l'habitude de le faire).

Les opérateurs +=, -=, ++ et -- modifient la valeur de leur premier opérande. Ils ne doivent donc pas pouvoir agir sur un objet constant. En revanche, les autres, c'est-à-dire [] (ici) et <<, peuvent agir sans risque sur un objet constant ; pour qu'ils puissent y être autorisés, nous leur donnerons l'attribut const.

Naturellement, ici encore, l'énoncé nous impose de surdéfinir l'opérateur d'affectation et de prévoir un constructeur par recopie.

Voici ce que pourrait être la déclaration de notre classe bit_array :

```
    /* fichier bitarray.h : déclaration de la classe bit_array */
#include <iostream.h>
class bit_array
{   int nbits ;       // nombre courant de bits du tableau
    int ncar ;        // nombre de caractères nécessaires (redondant)
    char * adb ;      // adresse de l'emplacement contenant les bits
  public :
    bit_array (int = 16) ;      // constructeur usuel
    bit_array (bit_array &) ;   // constructeur par recopie
    ~bit_array () ;             // destructeur
                                // les opérateurs binaires
    bit_array & operator = (bit_array &) ;                  // affectation
    int operator [] (int) const ;                           // valeur d'un bit
    void operator += (int) ;                                // activation d'un bit
    void operator -= (int) ;                                // désactivation d'un bit
                                                            // envoi sur flot
    friend ostream & operator << (ostream &, bit_array &) const ;
                                // les opérateurs unaires
    void operator ++ () ;                                   // mise à 1
    void operator -- () ;                                   // mise à 0
    void operator ~ () ;                                    // complément à 1
} ;
```

Voici la définition des différentes fonctions.

```
     /* définition des fonctions de la classe bit_array */
#include "bitarray.h"
#include <limits.h>

bit_array::bit_array (int nb)
{  nbits = nb ;
   ncar = nbits / CHAR_BIT + 1 ;
   adb = new  char [ncar] ;
   int i ;
   for (i=0 ; i<ncar ; i++) adb[i] = 0 ;    // raz
}
```

```
bit_array::bit_array (bit_array & t)
{  nbits = t.nbits ; ncar = t.ncar ;
   adb = new  char [ncar] ;
   int i ;
   for (i=0 ; i<ncar ; i++) adb[i] = t.adb[i] ;
}
bit_array::~bit_array()
{  delete adb ;
}
bit_array & bit_array::operator = (bit_array & t)
{  if (this != & t)      //  on ne fait rien pour t=t
     { delete adb ;
       nbits = t.nbits ; ncar = t.ncar ;
       adb = new char [ncar] ;
       int i ;
       for (i=0 ; i<ncar ; i++)
          adb[i] = t.adb[i] ;
     }
   return *this ;
}

int bit_array::operator [] (int i) const
{       // le bit de rang i s'obtient en considérant le bit
        //   de rang i % CHAR_BIT du caractère de rang i / CHAR_BIT
    int carpos = i / CHAR_BIT ;
    int bitpos = i % CHAR_BIT ;
    return  ( adb [carpos] >> CHAR_BIT - bitpos -1 ) & 0x01 ;
}

void bit_array::operator += (int i)
{    int carpos = i / CHAR_BIT ;
     if (carpos < 0 || carpos >= ncar) return ;    // protection
     int bitpos = i % CHAR_BIT ;
     adb [carpos] |= (1 << (CHAR_BIT - bitpos - 1) ) ;
}

void bit_array::operator -= (int i)
{    int carpos = i / CHAR_BIT ;
     if (carpos < 0 || carpos >= ncar) return ;    // protection
     int bitpos = i % CHAR_BIT ;
     adb [carpos] &= ~(1 << CHAR_BIT - bitpos - 1) ;
}

ostream & operator << (ostream & sortie, bit_array & t) const
{   sortie << "<* " ;
    int i ;
    for (i=0 ; i<t.nbits ; i++)
       sortie << t[i] << " " ;
    sortie << "*>" ;
    return sortie ;
}

void bit_array::operator ++ ()
{   int i ;
    for (i=0 ; i<ncar ; i++) adb[i] = 0xFFFF ;
}
```

```
void bit_array::operator -- ()
{   int i ;
    for (i=0 ; i<ncar ; i++) adb[i] = 0 ;
}

void bit_array::operator ~ ()
{   int i ;
    for (i=0 ; i<ncar ; i++) adb[i] = ~ adb[i] ;
}
```

Voici un programme d'essai de la classe bit_array, accompagné du résultat fourni par son exécution :

```
     /* programme d'essai de la classe bit_array */
main ()
{ bit_array t1 (34) ;
  cout << "t1 = " << t1 << "\n" ;
  t1 +=3 ; t1 += 0 ; t1 +=8 ; t1 += 15 ; t1 += 33 ;
  cout << "t1 = " << t1 << "\n" ;
  t1-- ;
  cout << "t1 = " << t1 << "\n" ;
  t1++ ;
  cout << "t1 = " << t1 << "\n" ;
  t1 -= 0 ; t1 -= 3 ; t1 -= 8 ; t1 -= 15 ; t1 -= 33 ;
  cout << "t1 = " << t1 << "\n" ;
  cout << "t1 = " << t1 << "\n" ;
  bit_array t2 (11), t3 (17) ;
  cout << "t2 = " << t2 << "\n" ;
  t2 = t3 = t1 ;
  cout << "t3 = " << t3 << "\n" ;
}
```

```
t1 = <* 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 *>
t1 = <* 1 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 *>
t1 = <* 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 *>
t1 = <* 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 *>
t1 = <* 0 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 *>
t1 = <* 0 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 *>
t2 = <* 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 *>
t3 = <* 0 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 *>
```

Exercice XV.5

Enoncé

La capacité des nombres entiers est limitée par la taille du type longint. Créer une classe big_int permettant de manipuler des nombres entiers de *valeur absolument quelconque*.

Pour ne pas alourdir l'exercice, on se limitera à des nombres sans signe et à l'opération d'addition ; on s'arrangera toutefois pour que des expressions mixtes (c'est-à-dire mélangeant des objets de type long_int avec des entiers usuels) aient un sens.

On définira l'opérateur << pour qu'il permette d'envoyer un objet de type big_int sur un flot. Parmi les différents constructeurs, on en prévoira un avec un argument de type chaîne de caractères, correspondant aux chiffres d'un "grand entier".

On fera en sorte que l'affectation et la transmission par valeur d'objets de type big_int ne pose aucun problème.

Solution

Pour représenter un "grand entier", la démarche la plus naturelle (mais pas la plus économique en place mémoire!) consiste à conserver le nombre sous forme décimale, à chaque chiffre étant associé un caractère. Pour ce faire, on peut choisir de "coder" un tel chiffre par le caractère correspondant ('0' pour 0, '1' pour 1, ...) ; on peut aussi choisir de placer une valeur égale au chiffre lui-même (0 pour 0, 1 pour 1, ...). La dernière solution oblige à effecteur un "transcodage" lorsque l'on doit passer de la forme chaîne de caratères à la forme big_int (dans le constructeur correspondant, notamment) ou, inversement, lorsque l'on doit passer de la forme big_int à la forme suite de caractères (pour l'affichage). En revanche, elle simplifie quelque peu l'algorithme d'addition, et c'est elle que nous avons choisie.

L'emplacement permettant de conserver un grand entier sera alloué dynamiquement ; sa taille sera, naturellement, adaptée à la valeur du nombre qui s'y trouvera. On conservera également le nombre courant de chiffres de l'entier ; on pourrait, en toute rigueur, s'en passer mais nous verrons que sa présence simplifie quelque peu la programmation. En ce qui concerne l'ordre de rangement des chiffres au sein de l'emplacement correspondant, il y a manifestement deux possibilités. Chacune possède des avantages et des inconvénients ; nous avons ici choisi de ranger les chiffres dans l'ordre inverse de celui où on les écrit (unités, dizaines, centaines...).

Pour pouvoir accepter les expressions mixtes, on dispose de plusieurs solutions :

- soit surdéfinir l'opérateur + pour tous les cas possibles,
- soit surdéfinir + uniquement lorsqu'il porte sur des grands entiers et prévoir un constructeur recevant un argument de type unsigned long ; il permettra ainsi la conversion en big_int de n'importe quel type numérique.

C'est la deuxième solution que nous avons adoptée. Notez toutefois que, si elle a le mérite d'être la plus simple à programmer, elle n'est pas la plus efficace en temps d'exécution.

Par ailleurs, pour que les conversions envisagées s'appliquent au premier opérande de l'addition, il est nécessaire de surdéfinir l'opérateur + comme une fonction amie.

Voci la déclaration de notre classe big_int (la présence d'un constructeur privé à deux arguments entiers sera justifiée un peu plus loin) :

```
      /* fichier bigint.h : déclaration de la classe big_int */
#define NCHIFMAX 32    // nombre maxi de chiffres d'un entier (dépend de
                  //     l'implémentation
#include <iostream.h>
class big_int
{   int nchif ;                  // nombre de chiffres
    char * adchif ;              // adresse emplacement contenant les chiffres
    big_int (int, int) ;         // constructeur privé (à usage interne)
  public :
    big_int (unsigned long=0) ;  // constructeur à partir d'un nombre usuel
    big_int (char *) ;           // constructeur à partir d'une chaîne
    big_int (big_int &) ;                        // constructeur par recopie
    big_int & operator = (big_int &) ;                      // affectation
    friend big_int operator + (big_int &, big_int &) ;      // opérateur +
```

```
    friend ostream & operator << (ostream &, big_int &) ;    // opérateur <<
} ;
```

L'opérateur + commence par créer un emplacement temporaire pouvant recevoir un nombre comportant un chiffre de plus que le plus grand de ses deux opérandes (on ne sait pas encore combien de chiffres comportera exactement le résultat). On y calcule la somme suivant un algorithme calqué sur le processus manuel d'addition.

Puis on crée un objet de type big_int en utilisant un constructeur particulier : big_int (int, int). En fait, nous avons besoin d'un constructeur créant un big_int comportant un nombre de chiffres donné, ce dont nous ne disposons pas dans les constructeurs publics. De plus, nous ne pouvons pas utiliser un constructeur de la forme big_int (int) car, alors, les additions mixtes faisant intervenir des entiers chercheraient à l'employer pour effectuer une conversion! C'est pourquoi nous avons prévu un constructeur à deux arguments, le second étant fictif ; de plus, nous l'avons rendu privé, dans la mesure où il n'a nullement besoin d'être accessible à un utilisateur de la classe.

Voici la définition des fonctions de la classe big_int

```
     /* définition des fonctions de la classe big_int */
#include <string.h>
#include <iostream.h>
#include "bigint.h"

big_int::big_int (int n, int p)     // l'argument p est fictif
{   nchif = n ;
    adchif = new char [nchif] ;
}

big_int::big_int (char * ch)
{
    nchif = strlen (ch) ;
    adchif = new char [nchif] ;
    int i ; char c ;
    for (i=0 ; i<nchif ; i++)
      { c = ch[i] - '0' ;
        if (c<0 || c>9) c=0 ;        // précaution
        adchif[nchif-i-1] = c ;      // attention à l'ordre des chiffres !
      }
}

big_int::big_int (unsigned long n)
{     // on crée le grand entier correspondant dans un emplacement temporaire
    char * adtemp = new char [NCHIFMAX] ;
    int i = 0 ;
    while (n)
      { adtemp [i++] = n % 10 ;
        n /= 10 ;
      }
       // ici i contient le nombre exact de chiffres
    nchif = i ;
    adchif = new char [nchif] ;
    for (i=0 ; i<nchif ; i++)
        adchif [i] = adtemp [i] ;
       // on libère l'emplacement temporaire
    delete adtemp ;
}
```

```
big_int::big_int (big_int & n)
{  nchif = n.nchif ;
   adchif = new char [nchif] ;
   int i ;
   for (i=0 ; i<nchif ; i++)
       adchif [i] = n.adchif [i] ;
}

big_int & big_int::operator = (big_int & n)
{  if (this != &n)
      { delete adchif ;
        nchif = n.nchif ;
        adchif = new char [nchif] ;
        int i ;
        for (i=0 ; i<nchif ; i++)
           adchif [i] = n.adchif [i] ;
      }
   return * this ;
}

big_int operator + (big_int & n, big_int & p)
{   int nchifmax = (n.nchif > p.nchif) ? n.nchif : p.nchif ;
    int ncar = nchifmax + 1 ;
       // préparation du résultat dans zone temporaire de taille ncar
    char * adtemp = new char [ncar] ;
    int i, s, chif1, chif2 ;
    int ret = 0 ;
    for (i=0 ; i<nchifmax ; i++)
      { chif1 = (i<n.nchif) ? n.adchif [i] : 0 ;
        chif2 = (i<p.nchif) ? p.adchif [i] : 0 ;
        s = chif1 + chif2 + ret ;
        if (s>=10) { s -= 10 ;
                     ret = 1 ;
                   }
              else ret = 0 ;
        adtemp [i] = s ;
      }
    if (ret == 1) adtemp [ncar-1] = 1 ;
             else ncar-- ;
      // construction d'un objet de type big_int où l'on recopie le résultat
    big_int res (ncar, 0) ;      // second argument fictif
    res.nchif = ncar ;
    for (i=0 ; i<ncar ; i++)
       res.adchif [i] = adtemp [i] ;
    delete adtemp ;
    return res ;
}

ostream & operator << (ostream & sortie, big_int & n)
{   int i ;
    for (i=n.nchif-1 ; i>=0 ; i--)       // attention à l'ordre !
       sortie << n.adchif [i] + '0' ;
    return sortie ;
}
```

Voici un petit programme d'utilisation de la classe big_int, accompagné du résultat fourni par son exécution :

```
     /* programme d'essai */
#include <iostream.h>
#include "bigint.h"
main()
{  big_int n1=12 ;
   big_int n2(35) ;
   big_int n3 ;
   n3 = n1 + n2 ;
   cout << n1 << " + " << n2 << " = " << n3 << "\n" ;
   big_int n4 ("1234567890123456789"), n5("9876543210987654321"), n6 ;
   n6 = n4 + n5 ;
   cout << n4 << " + " << n5 << " = " << n6 << "\n" ;
   cout << n6 << " + " << n1 << " = " << n6 + n1 << "\n" ;
}
```

```
12 + 35 = 47
1234567890123456789 + 9876543210987654321 = 11111111101111111110
11111111101111111110 + 12 = 11111111101111111122
```

Exercice XV.6

Enoncé

Créer un patron de classes nommé stack, permettant de manipuler des piles dont les éléments sont de type quelconque. Ces derniers seront conservés dans un emplacement alloué dynamiquement et dont la dimension sera fournie au constructeur (il ne s'agira donc pas d'un paramètre expression du patron). La classe devra comporter les opérateurs suivants :

- <<, tel que p<<n ajoute l'élément n à la pile p (si la pile est pleine, il ne se passera rien),
- >>, tel que p>>n place dans n la valeur du haut de la pile p, en la supprimant de la pile (si la pile est vide, il ne se passera rien),
- ++, tel que ++p vale 1 si la pile p est pleine et 0 dans le cas contraire,
- --, tel que --p vale 1 si la pile p est vide et 0 dans le cas contraire,
- <<, tel que, flot étant un flot de sortie, flot << p affiche le contenu de la pile p sur le flot sous la forme : // valeur_1 valeur_2... valeur_n //.

On supposera que les objets de type stack ne seront jamais soumis à des transmissions par valeur ou à des affectations ; on ne cherchera donc pas à surdéfinir le constructeur par recopie ou l'opérateur d'affectation.

Solution

En fait, on peut s'inspirer de ce qui a été fait dans l'exercice VII.10 pour réaliser une pile d'entiers en faisant en sorte que int soit remplacé par un paramètre de type.

Voici ce que pourrait être la définition de notre patron de classes :

```
#include <iostream.h>
#include <stdlib.h>
```

```
template <class T> class stack
{   int nmax ;                  // nombre maximum de la valeurs de la pile
    int nelem ;                 // nombre courant de valeurs de la pile
    T * adv ;                   // pointeur sur les valeurs
  public :
    stack (int = 20) ;           // constructeur
    ~stack () ;                  // destructeur
    stack & operator << (T) ;   // opérateur d'empilage
    stack & operator >> (T &) ; // opérateur de dépilage (attention T &)
    int operator ++ () ;             // opérateur de test pile pleine
    int operator -- () ;             // opérateur de test pile vide
                                     // opérateur << pour flot de sortie
    friend ostream & operator << (ostream &, stack<T> &) ;
} ;
template <class T> stack<T>::stack (int n)
{   nmax = n ;
    adv = new T [nmax] ;
    nelem = 0 ;
}
template <class T> stack<T>::~stack ()
{   delete adv ;
}
template <class T> stack<T> & stack<T>::operator << (T n)
{   if (nelem < nmax) adv[nelem++] = n ;
    return (*this) ;
}
template <class T> stack<T> & stack<T>::operator >> (T & n)
{   if (nelem > 0) n = adv[--nelem] ;
    return (*this) ;
}
template <class T> int stack<T>::operator ++ ()
{   return  (nelem == nmax) ;
}
template <class T> int stack<T>::operator -- ()
{   return (nelem == 0) ;
}
template <class T> ostream & operator << (ostream & sortie, stack<T> & p)
{ sortie << "// " ;
  int i ;
  for (i=0 ; i<p.nelem ; i++) sortie << p.adv[i] << " " ;
  sortie << " " ;
}
```

A titre indicatif, voici un petit programme d'utilisation de notre patron de classes (dont on suppose que la définition figure dans stack_gen.h) :

```
     /************ programme d'essai de stack *********/
#include "stack_gen.h"
#include <iostream.h>
main()
{
    stack <int> pi(20) ;           // pile de 20 entiers maxi
    cout << "pi pleine : " << ++pi << " vide : " << --pi << "\n" ;
    pi << 2 << 3 << 12 ;
    cout << "pi = " << pi << "\n" ;
    stack <float> pf(10) ;         // pile de 10 flottants maxi
    pf << 3.5 << 4.25 << 2 ;       // 2 sera converti en float
```

```
    cout << "pf = " << pf << "\n" ;
    float x ;  pf >> x ;
    cout << "haut de la pile pf = " << x ;
    cout << "pf = " << pf << "\n" ;
}
```

Exercice XV.7

Enoncé

En vous inspirant de l'exercice XV.2, créer un patron de classes permettant de manipuler des vecteurs dynamiques dont les éléments sont de type quelconque.

Solution

Voici la déclaration de notre patron :

```
template <class T> class vect
{  int nelem ;                    // nombre de composantes du vecteur
   T * adr ;                      // pointeur sur partie dynamique
 public :
   vect (int n=1) ;               // constructeur "usuel"
   vect (vect & v) ;              // constructeur par recopie
   ~vect () ;                     // destructeur
   friend ostream & operator << (ostream &, vect <T> &) ;
   vect<T> operator = (vect<T> & v) ;  // surdéfinition opérateur affectation
   T & operator [] (int i) ;           // surdef [] pour vect non constants
   T   operator [] (int i) const ;     // surdef [] pour vect constants
} ;
```

Voici la définition des différentes fonctions membre :

```
#include "vectgen.h"
template <class T> vect<T>::vect (int n)      // constructeur "usuel"
     { adr = new T [nelem = n] ;
     }

template <class T> vect<T>::vect (vect<T> & v)   // constructeur par recopie
     { adr = new T [nelem = v.nelem] ;
       int i ;
       for (i=0 ; i<nelem ; i++)
           adr[i] = v.adr[i] ;
     }

template <class T> vect<T>::~vect ()
     { delete adr ;
     }

template <class T> vect<T>  vect<T>::operator = (vect<T> & v)
     { if (this != &v)              // on ne fait rien pour a=a
```

```
          { delete adr ;
            adr = new T [nelem = v.nelem] ;
            int i ;
            for (i=0 ; i<nelem ; i++)
              adr[i] = v.adr[i] ;
          }
        return * this ;
      }

template <class T> T & vect<T>::operator [] (int i)
      { return adr[i] ;
      }

template <class T> T   vect<T>::operator [] (int i) const
      { return adr[i] ;
      }

template <class T> ostream & operator << (ostream & sortie, vect<T> & v)
      { sortie << "<" ;
        int i ;
        for (i=0 ; i<v.nelem ; i++) sortie << v.adr[i] << " " ;
        sortie << ">" ;
        return sortie ;
      }
```

A titre indicatif, voici un petit programme utilisant notre patron :

```
#include <vectgen.h>
#include <iostream.h>
main()
{  int i ;
   vect <int> v1(5) ; vect <int> v2(10) ;
   for (i=0 ; i<5 ; i++) v1[i] = i ;
   cout << "v1 = " << v1 << "\n" ;
   for (i=0 ; i<10 ; i++) v2[i] = i*i ;
   cout << "v2 = " << v2 << "\n" ;
   v1 = v2 ;
   cout << "v1 = " << v1 << "\n" ;
   vect <int> v3  = v1 ;
// vect <double> v3 = v1 ;               //  serait rejete
   cout << "v3 = " << v3 << "\n" ;
// const vect <float> w(3) ; w[2] = 5 ;  // conduit bien a erreur compilation
// vect <float> v4(5) ; v4 = v1 ;        // conduit bien a erreur compilation
}
```